

510,355

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



05 OCT 2004



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
16. Oktober 2003 (16.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 03/084551 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **A61K 31/69**, 31/11, 38/06, 31/16 (74) Anwalt: **HELBIG, Christian**; Frohwitter Patent- und Rechtsanwälte, Postfach 86 03 68, 81630 München (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE03/01213** (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (22) Internationales Anmeldedatum: 4. April 2003 (04.04.2003) (84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 16 227.1 5. April 2002 (05.04.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **VIROMICS GMBH** [DE/DE]; Karl-Liebknecht-Strasse 22, 07743 Jena (DE). (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHUBERT, Ulrich** [DE/DE]; Jenaische Strasse 51, 07407 Uhlstädt (DE). **WILL, Hans** [DE/DE]; Paul-Sorge-Strasse 60a, 22549 Hamburg (DE). **SIRMA, Hüseyin** [DE/DE]; Am Deich 18, 23553 Elmshorn (DE).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: AGENTS FOR TREATING <I>FLAVIVIRIDAE</I> INFECTIONS

(54) Bezeichnung: MITTEL ZUR BEHANDLUNG VON FLAVIVIRIDAE-INFektionen

(57) Abstract: The invention relates to agents used in the treatment, therapy and inhibition of *Flaviviridae* virus infections containing, as active constituents, proteasome inhibitors. The agents, which are used for inhibiting the release, maturation and replication of *Flaviviridae*, in pharmaceutical preparations contain, as active constituents, substance classes which are similar in that they inhibit the 26S proteasome. This includes, above all, proteasome inhibitors that influence the activities of the ubiquitin/proteasome pathway, particularly the enzymatic activities of the 26S and of the 20S proteasome complex. The invention is used in the antiviral therapy of *Flaviviridae* infections, especially in preventing the establishment and the sustainment of a chronic hepatitis C virus infection and of hepato-pathogenesis associated therewith.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Mittel zur Behandlung, Therapie und Hemmung von Flaviviridae-Virusinfektionen, die als wirksame Komponente Proteasom-Inhibitoren enthalten. Die zur Hemmung der Freisetzung, Reifung und Replikation von Flaviviridae eingesetzten Mittel in pharmazeutischen Zubereitungen enthalten als wirksame Komponente Substanzklassen, denen gemeinsam ist, dass sie das 26S Proteasom in Zellen inhibieren. Dazu gehören vor allem Proteasom-Inhibitoren, welche die Aktivitäten des Ubiquitin/Proteasom-Pathway beeinflussen, insbesondere die enzymatischen Aktivitäten des 26S und des 20S Proteasom-Komplexes. Die Anwendung der Erfindung liegt in der anti-viralen Therapie von Flaviviridae-Infektionen, speziell in der Verhinderung der Etablierung sowie der Aufrechterhaltung einer chronischen Hepatitis-C-Virus-Infektion und einer damit assoziierten Hepatopathogenese.

WO 03/084551 A1

Best Available Copy

## Mittel zur Behandlung von *Flaviviridae*-Infektionen

### Beschreibung

5

[0001] Die Erfindung betrifft Mittel (Proteasom-Inhibitoren) zur Vorbeugung, Behandlung, Therapie und Hemmung der von verschiedenen Mitgliedern der Virusfamilie *Flaviviridae* (Genera: *Flavivirus*, *Pestivirus*, *Hepacivirus*) verursachten Krankheiten beim Menschen und bei Tieren. Dies betrifft insbesondere die durch Hepaciviren (Hepatitis-C-Viren oder HCVs; 10 Abkürzungsverzeichnis hinter den Beispielen) verursachten Krankheiten, speziell Hepatitis beim Menschen. Darüber hinaus betrifft dies die von Pestiviren wie BVDV (Virus der bovinen viralen Diarrhoe) und CSFV (Virus der klassischen Schweinepest) verursachten Krankheiten bei Tieren und die von Flaviviren wie zum Beispiel West-Nil-, Dengue- und Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) Viren verursachten Krankheiten bei Menschen und 15 Tieren.

[0002] Die Anwendung der erfindungsgemäßen Mittel in pharmazeutischen Zubereitungen führt vorwiegend oder ausschließlich zur Freisetzung von nicht infektiösen Viren aus infizierten Zellen. Die gleichen Mittel können die Ausbreitung einer akuten Infektion in Zellkulturen wie auch im infizierten Organismus begrenzen, da alle Nachkommenviren, produziert unter 20 Behandlung mit diesen Mitteln, nicht oder so gut wie nicht infektiös sind. Des weiteren sind die Mittel für nicht proliferierende Hepatozyten und Non-Parenchymzellen der Leber weniger toxisch als für Hepatomazellen. Damit sind diese Mittel für eine bevorzugte Zerstörung von Leberkarzinomzellen geeignet, zum Beispiel von hepatzellulären Karzinomen (HCC) in HCV-infizierten Patienten. Bei den Mitteln handelt es sich um verschiedene Substanzklassen, 25 welchen gemeinsam ist, dass sie das 26S Proteasom in Zellen inhibieren. Am Beispiel von Vertretern der Genera *Flavivirus* und *Pestivirus* wird gezeigt, dass diese Mittel, die Proteasom-Inhibitoren, die Freisetzung von infektiösen Viren aus infizierten Wirtszellen drastisch reduzieren. Das Pestivirus BVDV dient dabei aufgrund einer ausgeprägten Homologie sowohl der Struktur des Viruspartikels als auch der Genomorganisation als Surrogat-Modell für das 30 HCV, für das selbst kein infektiöses Zellsystem zur Verfügung steht. Markantestes Anwendungsbeispiel für diese Erfindung sind die anti-virale Therapie von Hepatitis-Infektionen, speziell zur Verhinderung der Etablierung sowie der Aufrechterhaltung einer akuten und chronischen HCV-Infektion. Weiter Anwendungsbeispiele betreffen die Behandlung von BVDV-Infektionen beim Rind und CSFV-Infektionen beim Schwein. Darüber können diese 35 Mittel auch bei der Vorbeugung und Behandlung von Infektionskrankheiten Anwendung finden, die von Flaviviren wie West-Nil-Virus, Gelbfieber-Virus, Dengue-Virus und Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) Virus verursacht werden. Dem bisherigen Erkenntnisstand

zufolge ist davon auszugehen, dass mit Proteasom-Inhibitoren die Virämie sowohl bei einer Neuinfektion als auch bei chronischen Infektionen unterdrückt und der Erfolg einer Viruseliminierung durch das eigene Immunsystem und/oder durch bekannte Mittel mit ähnlicher oder anderer Wirkung erhöht werden kann. Die Folgen zum Beispiel einer HCV-Infektion - wie z.B. Leberschädigungen unterschiedlichen Schweregrades bis hin zur Entwicklung einer Leberzirrhose/Fibrose oder eines Leberkarzinoms - können durch den Einsatz von Proteasom-Inhibitoren verhindert, gemindert oder revertiert werden.

#### Charakteristik des bekannten Standes

##### 0. Einleitung

[0003] Eines der größten Weltgesundheitsprobleme (ca. 3% der Weltbevölkerung sind betroffen) ist die Infektion mit Hepatitis-C-Virus (HCV). Wichtigstes Merkmal von HCV-Infektionen ist ein oft lebenslang andauernder chronischer Virus-Trägerstatus der betroffenen Personen: Mehr als 70% der HCV-Infizierten entwickeln eine chronische Hepatitis, die zu chronisch aktiver Hepatitis verschiedener Schweregrade bis hin zu Leberzirrhose und Fibrose (10-20% aller Fälle) führen kann. Unabhängig davon entstehen bei 1 bis 5% der chronisch Infizierten primäre hepatzelluläre Karzinome (HCC; für Reviews siehe Lindenbach and Rice, 2001 sowie Major *et al.*, 2001). Darüber hinaus werden HCV-Infektionen ursächlich noch mit mehr als 30 weiteren Erkrankungen beim Menschen in Verbindung gebracht, darunter mit bedeutenden Autoimmunerkrankungen wie der Typ II Kryoglobulinämie (mixed type II cryoglobulinemia, MC; Agnello, 2000). HCV-Infizierte werden in der Regel mit einer Kombination von Interferon-alpha und Ribavirin behandelt. Diese Methode ist aber mit starken Nebenwirkungen behaftet und führt nur in etwa der Hälfte aller Fälle zur Eliminierung des Virus aus dem Körper. Diese unbefriedigende Situation liegt zum einen an der generell breiten Vielfalt der HCV-Varianten: Zur Zeit werden sechs Genotypen unterschieden; diese lassen sich wiederum in eine Reihe von Subtypen und Stämmen diversifizieren (für Review siehe Bukh *et al.*, 1995). Zum anderen entwickeln sich in den chronisch infizierten Individuen eine Vielzahl neuer genetischer Varianten. Die genetische Variabilität von HCV ist wahrscheinlich auch die Ursache für die ineffiziente Immunantwort, die bei der Mehrheit der HCV-Infizierten beobachtet werden kann. Aus diesem Grund konnten bisher weder prophylaktische noch therapeutische Impfmethoden entwickelt werden. Auch die passive Gabe von HCV-spezifischen neutralisierenden Antikörpern und/oder Medikamenten bei Lebertransplantierten verhindert oft nicht die Neuinfektion der transplantierten Leber. Immunsuppression von Patienten mit abklingenden Hepatitiden oder nach einer Lebertransplantation kann zur Reaktivierung von latent vorhandenen Viren führen. Um die Probleme der bisher verfügbaren antiviralen und therapeutischen Mittel für die Hepatitis C zu umgehen, sind neue Therapieansätze notwendig. Vor dem Hintergrund der Virusvariabilität sind dabei vor allem solche Methoden von großer

Bedeutung, die konservierte zelluläre Faktoren beeinflussen, die für die Vermehrung dieser Viren in der Wirtszelle essentiell sind. Solche Mittel werden in dieser Erfindung beschrieben. Da bisher weder effizient infizierbare Zellen in Kultur noch ein praktikables Tiermodell für HCV zur Verfügung stehen, wurden hierzu Studien mit dem HCV-verwandten Pestivirus BVDV durchgeführt. Die Ähnlichkeit des Lebenszyklus von BVDV und HCV wurde in einer Reihe vorangehender Arbeiten demonstriert (für Review siehe Lindenbach and Rice, 2001). Darüber hinaus wurden Experimente mit einem anderen, phylogenetisch weiter entfernten Vertreter der *Flaviviridae* Familie, dem West-Nil Flavivirus, durchgeführt. Die Erfindung betrifft die überraschende Erkenntnis, dass Inhibitoren des zellulären 26S Proteasoms die Produktion von infektiösen Viren sowohl aus BVDV als auch aus West-Nil-Virus-infizierten Zellen verhindern. Der homologe Effekt von Proteasom-Inhibitoren auf die Vermehrung von Pestiviren und Flaviviren impliziert einen ähnlichen Wirkmechanismus dieser Mittel bei allen Vertretern der *Flaviviridae* Familie; dieser beruht wahrscheinlich ursächlich auf der homologen Struktur der Virionen der *Flaviviridae*. Neben der antiviralen Wirkung wurde festgestellt, dass der zytotoxische Effekt von Proteasom-Inhibitoren bei Hepatomazellen (Leberkrebszellen), die sich schnell teilen, signifikant stärker ausgeprägt ist als bei langsam teilenden primären Hepatozyten. Aufgrund dieser Eigenschaften sind Proteasom-Inhibitoren besonders für die Therapie von HCV-verursachten Lebererkrankungen und Leberkarzinomen geeignet. Die Wirkung von Proteasomen-Inhibitoren auf Pestiviren legt nahe, diese Mittel bei der Bekämpfung der verbreiteten Tierpathogene BVDV (Ursache von boviner Virus-Diarrhoe und boviner mucosal disease, MD) und CSFV (Ursache der Schweinepest) einzusetzen (für Review siehe Thiel, 1996). Die Wirkung von Proteasom-Inhibitoren auf die Vermehrung von Flaviviren eröffnet Anwendungsmöglichkeiten bei zahlreichen durch Flaviviren verursachten Krankheiten beim Menschen und bei Tieren, darunter Fieber, Enzephalitiden und Hämorrhagien. Bedeutungsvoll ist in diesem Kontext vor allem das Dengue-Fieber-Virus, gegen das es bisher nur unzureichende Vakzine und Behandlungsformen gibt (für Review, siehe Burke and Monath, 2001).

### 1. Funktion des Ubiquitin/Proteasom-Pathway

[0004] Proteasomen stellen die hauptsächliche proteolytische Komponente im Zellkern und Zytosol aller eukaryotischen Zellen dar. Es sind multikatalytische Enzymkomplexe, die ca. 1% der Gesamt-Zellproteine ausmachen. Proteasomen üben eine vitale Rolle in vielfältigen Funktionen des Zellmetabolismus aus. Die hauptsächliche Funktion ist die Proteolyse von missgefalteten, nicht-funktionellen Proteinen und der schnelle Abbau regulatorischer Proteine. Eine weitere Funktion hat der proteasomale Abbau von zellulären oder viralen Proteinen für die T-Zell-vermittelte Immunantwort durch die Generierung von Peptidliganden für Major Histocompatibilitäts Klasse-I-Moleküle (für Review siehe Rock und Goldberg, 1999). Proteas-

som-Targets werden in der Regel durch die Anheftung von oligomeren Formen von Ubiquitin (Ub) für den Abbau markiert. Ub ist ein hochkonserviertes, 76 Aminosäuren langes Protein, das kovalent an Targetproteine gekoppelt wird. Die Ubiquitylierung selbst ist reversibel, und Ub-Moleküle können durch eine Vielzahl von Ub-Hydrolasen von dem Targetmolekül wieder entfernt werden. Die Verbindung zwischen der Ubiquitylierung von Targetproteinen und der proteasomalen Proteolyse wird allgemein als Ubiquitin/Proteasom-System (UPS) bezeichnet (für Review siehe Rock und Goldberg, 1999; Hershko und Ciechanover, 1998).

[0005] Das 26S Proteasom ist ein 2.5 Mda großer Multienzym-Komplex, welcher aus ca. 31 Untereinheiten besteht. Die proteolytische Aktivität des Proteasom-Komplexes wird durch 10 eine zylinderförmige, 700 kDa große und aus vier übereinander liegenden Ringen bestehende Core-Struktur, dem 20S Proteasom, realisiert. Das 20S Proteasom bildet einen aus 14 nicht identischen Proteinen bestehenden komplizierten Multienzymkomplex, der in zwei  $\alpha$ -und zwei  $\beta$ -Ringen in einer  $\alpha\beta\beta\alpha$ -Reihenfolge angeordnet ist. Die Substratspezifität des 20S Proteasom umfasst drei wesentliche Aktivitäten: Trypsin-, Chymotrypsin- und Postglutamyl-15 Peptid hydrolysierende- (PGPH) oder auch Kaspase-ähnliche Aktivitäten, welche in den  $\beta$ -Untereinheiten Z, Y und Z lokalisiert sind. Das 20S Proteasom degradiert *in vitro* denaturierte Proteine unabhängig von deren Poly-Ubiquitylierung. Dagegen werden *in vivo* enzymatische Aktivitäten des 20S Proteasoms durch Anlagerung der 19S regulatorischen Untereinheiten reguliert, welche zusammen das aktive 26S Proteasom Partikel bilden. Die 19S regulatorischen Untereinheiten sind bei der Erkennung von poly-ubiquitylierten Proteinen sowie bei 20 der Entfaltung von Targetproteinen beteiligt. Die Aktivität des 26S Proteasom ist ATP-abhängig und degradiert fast ausschließlich nur poly-ubiquitylierte Proteine (für Review siehe Hershko und Ciechanover, 1998).

#### 25 1.1. Bedeutung des UPS in der Pathogenese klinisch relevanter Krankheiten

[0006] Die zentrale Rolle des UPS in der Zelle erklärt die Bedeutung dieses Systems für zahlreiche pathologische Erscheinungen (für Review siehe Ciechanover et al., 2000). Beispielsweise ist der Level des Tumorsuppressor-Proteins p53 in besonders aggressiven Formen von zervikalen Karzinomen extrem niedrig, die durch bestimmte Isolate des Humanen Papilloma-Virus (HPV) ausgelöst werden. Das HPV onco-Protein E6 induziert den Abbau des Suppressorproteins p53 über das UPS.

[0007] Bei der Entstehung von colorektalem Cancer spielt  $\beta$ -Catenin, ein über das UPS regulierter zellulärer Faktor, eine wichtige Rolle in der Signal-Transduktion und Differenzierung von colorektalem Epithelium. Außerdem besteht eine Korrelation zwischen dem Level an 30 p27, einem G1-Cyclin CDK-Inhibitor und dem Entstehen von colorektalen Cancer und Brustkrebs. Der Abbau von p27 durch das UPS ist entscheidend für den Übergang von G1- zur S-Phase während der Zellteilung.

[0008] Eine Rolle des UPS bei Erbkrankheiten ist bekannt, so für den Pathomechanismus von Cystischer Fibrosis, dem Angelmans-Syndrom sowie dem Liddle-Syndrom. Auch bei neurodegenerativen Erkrankungen spielt das UPS eine Rolle: Die Akkumulation von Ubiquitin-Konjugaten wurde in pathologischen Läsionen bei Alzheimer und Parkinson berichtet. Bei Huntington akkumulieren die Proteine Huntingtin und Ataxin in Proteasom-aktiven nukleären Strukturen im Zellkern. Eine zentrale Funktion übt das UPS bei Erkrankungen des Immunsystems aus. Zum einen ist der 26S Proteasom-Komplex die hauptsächliche Protease in der MHC-I-Antigenprozessierung, und zum anderen kann die Aktivität des Proteasoms selbst sowohl durch  $\gamma$ -Interferon induzierbare katalytische  $\beta$ -Untereinheiten als auch durch die regulatorische Untereinheit PA28 manipuliert werden. Viele entzündliche und immunologische Krankheiten stehen im Zusammenhang mit dem Transkriptionsfaktor NF- $\kappa$ B, welcher verschiedene Gen-Funktionen in der Immunantwort reguliert. Die Aktivierung von NF- $\kappa$ B, die durch Ubiquitylierung und spezifische Spaltung eines Vorläuferproteins durch das Proteasom gesteuert wird, führt zur erhöhten Expression von verschiedenen Zytokinen, Adhäsionsmolekülen, entzündlichen und Stress-Response-Proteinen sowie Immunrezeptoren.

[0009] Diese Zusammenhänge erklären das Interesse an einer pharmakologischen Anwendung von Substanzen, die das UPS regulieren.

### 1.2. Proteasom-Inhibitoren

[0010] Verschiedene Substanzklassen sind als Proteasom-Inhibitoren bekannt. Es sind zum einen chemisch modifizierte Peptidaldehyde wie der Tripeptidaldehyd N-carbobenzoxyl-L-leucinyl-L-leucinyl-L-leucinal (zLLL; auch als MG132 bezeichnet) sowie das wirksamere Borsäure-Derivat MG232. zLLL und davon abgeleitete Derivate. Sie blockieren das Proteasom reversible durch Ausbildung einer transienten Hemiacetal-Struktur mit der katalytisch aktiven Threonin-Hydroxyl-Seitenkette in Position 1 der  $\beta$ -Untereinheit des 26S Proteasoms. Ähnlich zu zLLL wurde eine weitere Klasse von modifizierten Peptiden, die Peptid-Vinyl-Sulfone, als Proteasom-Inhibitoren beschrieben (für Review siehe Elliott und Ross, 2001).

[0011] Natürlich vorkommende Substanzen sind Lactacystin (LC) (Fenteany et al., 1995), das aus Streptomyceten, sowie Epoxomycin, das aus Actinomyzeten gewonnen wird (Meng et al., 1999a,b). LC ist ein hoch spezifischer, irreversibel wirkender Proteasom-Inhibitor, welcher hauptsächlich die Chymotrypsin und die Trypsin-ähnlichen Aktivitäten des 26S Proteasom-Partikels blockiert (Fenteany et al., 1995). LC hat keine Peptid-Grundstruktur, sondern besteht aus einem  $\gamma$ -Lactam-Ring, einem Cystein und einer Hydroxy-butyl-Gruppe. LC selbst inhibiert nicht das Proteasom. Vielmehr wird in wässriger Lösung der N-Acetyl-Cystein-Rest hydrolysiert. Das Resultat ist die Bildung eines Clastolactacystein  $\beta$ -Lactons, das in der Lage ist, Zellmembranen zu penetrieren. Nach Zellaufnahme kommt es zum nukleophilen Angriff

des  $\beta$ -Lacton-Rings und anschließender Transesterifizierung der Threonin1-Hydroxyl-Gruppe der  $\beta$ -Untereinheit (Fenteany et al., 1995). Hinsichtlich Spezifität und Wirksamkeit ist Epoxyomycin der bislang wirksamste aller bekannten natürlichen Proteasom-Inhibitoren (Meng et al., 1999; a, b).

- 5 [0012] Eine weitere und sehr potente Klasse an synthetischen Proteasom-Inhibitoren sind Borsäure-Peptid-Derivate, insbesondere die Verbindung Pyranoyl-Phenyl-Leuzinyl-Borsäure mit dem Namen "PS-341". PS-341 ist unter physiologischen Bedingungen sehr stabil und nach intravenöser Applikation bioverfügbar (Adams und Stein, 1996; Adams et al., 1999, US 1448.012TW01). Die besondere Wirksamkeit von PS-341 als Proteasom-Inhibitor wird ver-  
10 mutlich durch die sehr stabile Bindung zwischen Borsäure- und Hydroxyl-Gruppe der kataly-  
tisch aktiven Seitenkette von Thr1 in der aktiven  $\beta$ -Untereinheit des 20S-Proteasoms ( $K_i = 0.6$  nM) realisiert (Adams und Stein, 1996). Außer dem Proteasom ist bislang keine zelluläre  
Protease bekannt, welche durch PS-341 beeinflusst wird. Verschiedene Borsäure-Peptid-  
Derivate wurde auf Wirkung als Proteasom-Inhibitor bereits getestet (Adams et al., 1998).  
15 Dabei wurde festgestellt, dass Leucin, bevorzugt in P1-Position, sowie relativ große hydro-  
phobe Seitenketten (zum Beispiel Naphthylalanin) in P2 und P3 die Wirksamkeit und den Ki-  
Wert (inhibitorische Konstante) des Inhibitors verbessern (Adams et al., 1998).

#### 1.2.1. Klinische Applikation von Proteasom-Inhibitoren

- 20 [0013] Die Hemmung der Proteasom-Aktivität als hauptsächliche zelluläre Protease kann zu Veränderungen in der Regulation des Zellzyklus, der Transkription, der gesamten zellulären Proteolyse, sowie der MHC-I Antigenprozessierung führen (für Review siehe Ciechanover et al., 2000). Demzufolge ist eine dauerhafte Inhibierung aller enzymatischen Aktivitäten des Proteasoms mit dem Leben einer Zelle und somit des Gesamtorganismus nicht vereinbar. Be-  
25 stimmte, reversibel wirkende Proteasom-Inhibitoren können jedoch selektiv einzelne proteo-  
lytische Aktivitäten des 26S Proteasoms inhibieren, ohne dabei andere zellulären Proteasen zu beeinflussen. Die Zytotoxizität solcher Inhibitoren ist daher wesentlich geringer im Vergleich zu relativ unspezifisch wirkenden Peptidaldehyden wie zLLL. Erste klinische Studien mit Proteasom-Inhibitoren (Adams et al., 1999) verdeutlichen, dass diese Substanzklasse ein e-  
30 normes Potential als Pharmaka mit einer vielfältiger Anwendungsbasis hat (für Review siehe Elliot und Ross, 2001).

- [0014] Die Bedeutung von Proteasom-Inhibitoren als neues therapeutisches Prinzip hat in den vergangenen Jahren zunehmende Aufmerksamkeit erfahren, insbesondere bei der Behandlung von Krebs und entzündlichen Erkrankungen (für Review siehe Elliot und Ross, 2001). Bis-  
35 lang ist der Einsatz für die breite klinische Anwendung am Menschen noch nicht zugelassen, die pharmazeutische Industrie arbeitet aber intensiv an der Entwicklung von neuen Medika-  
menten auf der Basis von in vivo-verträglichen Proteasom-Inhibitoren. Die Firma "Millenni-

um *Inc.*" (Cambridge, MA, USA) entwickelte Proteasom-Inhibitoren für entzündungshemmende, immunmodulatorische und antineoplastische Therapien, insbesondere Borsäure-Derivate von Di-Peptiden, und dabei insbesondere die Verbindung PS-341 (Adams et al., 1999). Die orale Applikation von PS-341 hat im Ratten-Modell eine entzündungshemmende 5 Wirkung in Streptokokken-induzierter Polyarthritis und Leber-Entzündung (Palombella et al., 1998). Im Maus-Modell zeigt PS-341 anti-neoplastische Wirkung bei Lungenkarzinomen und hat außerdem additive Wirkung in Verbindung mit Zytostatika (Teicher et al., 1999). In vitro-Versuche demonstrieren eine sehr gute Wirksamkeit gegenüber soliden humanen Ovarien- und Prostata-Tumorzellen (Frankel et al., 2000). PS-341 ist der bislang einzige klinisch erprobte Proteasom-Inhibitor. Phase I Studien an PS-341 demonstrieren eine gute Bio- 10 Verfügbarkeit und pharmakokinetisches Verhalten (Lightcap et al., 2000). Phase I- und Phase II-klinische Studien in Patienten mit unterschiedlichen Krebserkrankungen, wie zum Beispiel hämatologischen Malignancies als soliden Tumoren, wurden bereits abgeschlossen. Neben überraschenden therapeutischen Effekten in verschiedenen Tumor-Patienten ist bemerkenswert, dass keine Dosis-limitierende Toxizität bei der Behandlung mit PS-341 beobachtet werden konnte. Die Informationen dazu wurden in Pressemitteilungen von Millennium *Inc.* vorgestellt. (publiziert unter 15

<http://biz.yahoo.com/prnews/010301/neth003.html>;

<http://biz.yahoo.com/prnews/010301/neth003.html>;

20 [http://www.mlnm.com.releases.pr052300\\_1.shtml](http://www.mlnm.com.releases.pr052300_1.shtml);

<http://www.cancernet.nci.nih.gov/>;

<http://www3.manderson.org/leukemia/insight/letter52.html>.

[0015] Eine weitere klinische Anwendung von Proteasom-Inhibitoren, insbesondere solche, 25 die von der Firma Millennium *Inc.* entwickelt wurden, deutet sich bei entzündlichen und Auto-Immunerkrankungen an. Diese werden allgemein ausgelöst durch eine Kaskade der Zytokin- und Chemokin-Produktion sowie der Expression von bestimmten Zelladhäsionsmolekülen. Eine zentrale Stellung nimmt hierbei der Transkriptionsfaktor NF-κB ein. Dieser ist notwendig für die Expression einer Reihe von pro-inflammatorischen Faktoren. NF-κB, als ein 30 Vertreter der Rel-Proteine besteht aus einem Heterodimer von p50 und p65 (RelA) Untereinheiten (für Review siehe Baldwin, 1996). In ruhenden Zellen garantiert die Bindung des inhibitorischen Faktors IκB an NF-κB über Maskierung des nukleären Lokalisationssignal des p50/p65 Heterodimers die Lokalisation von NF-κB im Zytosol und zwar in einer latenten, inaktiven Form. Signale der Zellaktivierung, zum Beispiel Zytokine oder virale Infektionen lösen 35 die Phosphorylierung und poly-Ubiquitylierung von IκB und damit die Aktivierung von NF-κB aus. Nach Aktivierung transloziert NF-κB in den Zellkern und stimuliert die

Transkription von verschiedenen Genen, vor allem von Zytokinen, Chemokinen und Zelladhäsionsmolekülen. Diese Faktoren sind in der Summe involviert in der Regulation von immunologischen und inflammatorischen Prozessen. Durch Proteasom-Inhibitoren kann der Abbau von IκB und somit die Aktivierung von NF-κB blockiert werden (Palombella et al., 1994).

5 [0016] In einem Maus-Modell konnte gezeigt werden, dass der Proteasom-Inhibitor PS-519 (ein β-Lacton-Derivat) eine starke anti-inflammatorische Wirkung ausübt. In niedrigen Dosen ist PS-519 auch wirksam in Kombination mit Steroiden. PS-519 wurde daher als neues Medikament für die Asthma-Behandlung vorgeschlagen (Elliot et al., 1999). Eine weitere Anwendung für PS-519 ergibt sich im Infarkt-Modell: Die inflammatorische Reaktion nach cerebralen Verletzungen wurde durch PS-519 dramatisch reduziert. Danach scheint PS-519 ebenfalls 10 ein interessantes Pharmakon für die Behandlung von Gehirnschlag zu sein (Phillips et al., 2000).

15 [0017] Da Proteasom-Inhibitoren einen essentiellen Pathway im Zellmetabolismus treffen, ist ein strenges Dosis-Regime notwendig, um toxische Neben-Effekte zu unterdrücken. Im Rahmen der Entwicklung von in vivo verträglichen Proteasom-Inhibitoren wurden verschiedene Peptid-Borsäure-Derivate getestet, welche sowohl in der Zellkultur als auch im Tiermodell anti-Tumor-Wirkung zeigten (Adams et al., 1996; 1998; 1999). In vitro besitzt PS-341 eine selektive zytotoxische Aktivität gegen ein breites Spektrum an humanen Tumorzelllinien (Adams et al., 1999). Diese Aktivität ist mit der Akkumulation von p21 und Zellzyklus-Arrest in 20 der G2-M-Phase mit nachfolgender Apoptose verbunden (Adams et al., 1999). Direkte Injektion von PS-341 bewirkte im Maus-Modell das Absterben von 70% der untersuchten Tumoren. Nach intravenöser Verabreichung von PS-341 verteilte sich die Substanz in allen Organen und Geweben und hatte anti-neoplastische Aktivität in human-Xenograft-Modellen (Adams et al., 1999). Toxikologische Studien zu PS-341 in Primaten erbrachten Dosis- 25 abhängige Nebenwirkungen vor allem im gastrointestinalen Bereich, wo PS-341 nach intravenöser Applikation die höchste Verteilung zeigte (Adams et al., 1999). Ein weiterer Nachteil von PS-341 und verwandten Inhibitoren ist, dass sie nicht die Blut-Hirnschranke überwinden und somit nicht im Zentralnervensystem wirksam werden können (Adams et al., 1999).

30 [0018] Der Einsatz von Proteasom-Inhibitoren mit dem Ziel, virale Infektionen zu blockieren, wurde bereits beschrieben. Insbesondere wurde von Schubert et al. (2000 a, b) gezeigt, dass Proteasom-Inhibitoren die Assemblierung, Freisetzung und proteolytische Reifung von HIV-1 und HIV-2 blockieren. Dieser Effekt beruht auf einer spezifischen Blockade der proteolytischen Prozessierung der Gag-Polyproteine durch die HIV-Protease, ohne dass Proteasom-Inhibitoren die enzymatische Aktivität der viralen Protease selbst beeinflussen. 35 Der Mechanismus, mit welchem Proteasomen die Assemblierung verschiedener Viren regulieren, ist bislang unverstanden. Weitere Zusammenhänge mit dem UPS wurden für Budding von Rous Sarcoma Virus, RSV (Patnaik et al., 2000); Simian Immunodeficiency

Virus, SIV (Strack et al., 2000), und Ebola Virus (Harty et al., 2000) berichtet. Im letzteren Fall (Harty et al., 2000) wurde gezeigt, dass eine zelluläre Ubiquitinligase mit Ebola-Matrixprotein in Wechselwirkung tritt, eine direkte Bedeutung der Proteasom-Aktivität für die Replikation von Ebola oder verwandten Viren sowie die Inhibierung der Assemblierung von Ebola-Viren wurde bislang nicht gezeigt.

[0019] Ein wesentlicher Teil der Erfindung besteht also darin, dass die überraschenderweise festgestellte anti-virale Wirkung von Proteasom-Inhibitoren auf Mitglieder der *Flaviviridae* Familie, speziell auf mit dem HCV nächst-verwandte Viren wie Pestiviren, bislang nicht beschrieben wurde. Insbesondere wurden keinerlei anti-virale Effekte durch Proteasom-Inhibitoren beschrieben, die den Eintritts-/Internalisierungsprozess oder das Uncoating (Freisetzen des Virus-core) des *Flaviviridae*-Viruspartikels betreffen. Ebensowenig wurden anti-virale Effekte durch Proteasom-Inhibitoren beschrieben, die die Assemblierung, Maturierung oder die Sekretion von Nachkommenviren von *Flaviviridae* betreffen. Es wurde nicht beschrieben, dass Proteasom-Inhibitoren die Freisetzung von infektiösen *Flaviviridae*-Virionen der Virus-Produzent-Zellen blockieren. Weiterhin wurde nicht berichtet, dass Proteasom-Inhibitoren im Vergleich zu primären Hepatozyten bevorzugt Hepatomazellen abtöten und dadurch für die Therapie von Leberkarzinomen geeignet sind. Die erfindungsgemäß dargestellten Wirkungen von Proteasom-Inhibitoren auf frühe und/oder späte Prozesse des *Flaviviridae*-Lebenszyklus, wie auch auf Hepatomazellen, stellen somit völlig neuartige Prinzipien der anti-viralen Behandlung von Infektionen dieser Viren, speziell von HCV-Infektionen, dar.

1.3. Verbindung zwischen dem UPS und dem Lebenszyklus von *Flaviviridae*, speziell HCV

[0020] In keiner bekannten Studie wurde bisher analysiert, welchen Einfluss Proteasom-Inhibitoren auf die Freisetzung und Infektiosität von Mitgliedern der *Flaviviridae*-Familie haben, wie dies in der vorliegenden Erfindungsbeschreibung beobachtet und dargestellt wird. Publiziert wurde bisher, dass die Expression von HCV-Proteinen die Aktivität des UPS nicht beeinflusst (Moradpour et al., 2001). Darüber hinaus ist bekannt, dass eine Fraktion des HCV-Core-Proteins über das UPS abgebaut wird (Suzuki et al., 2001). Es tritt auch eine mono-ubiquitinierte Form des Core-Proteins auf, die jedoch stabil ist und nicht abgebaut wird. Bisher wurde nicht getestet, ob Proteasom-Inhibitoren einen Einfluss auf die Proliferation oder den Transformationstatus von hepatzellulären Karzinomen (HCC) haben. Bekannt ist lediglich, dass die P28 Proteasom-Untereinheit in den meisten HCCs überexprimiert wird (Higashitsuji et al., 2000).

## 2. Biologie der *Flaviviridae*

[0021] Die Familie *Flaviviridae* umfasst die Genera *Flavivirus*, *Pestivirus* und *Hepacivirus* (Hepatitis-C-Virus, HCV). Neben diesen drei Genera wurde kürzlich eine Gruppe weiterer *Flaviviridae*-ähnlicher Viren, die GB-Viren, charakterisiert, die bisher nicht klassifiziert sind.

5 Die phylogenetische Verwandtschaft ist zwischen Pestiviren und HCV erheblich ausgeprägter als zwischen Flavi- und Pesti- bzw. HCV und Flaviviren. Dementsprechend sind die Morphologie des Virions, die Genomorganisation und die bekannten biochemischen Mechanismen der Genexpression und Genomreplikation zwischen Pestiviren und HCV besonders konserviert. Wie bereits ausgeführt, handelt es sich bei vielen Mitgliedern der

10 *Flaviviridae* um bedeutende Human- und Tierpathogene (für Review siehe Lindenbach and Rice, 2001).

### 2.1. Aufbau des Virions; Mechanismus des Virus-Eintritts in die Wirtszelle

[0022] Das Virusgenom der *Flaviviridae* ist eine einzelsträngige, nicht segmentierte RNA positiver Orientierung mit einer Länge von 10 (HCV), 11 (Flaviviren) bzw. 13 Kilobasen (Pestiviren). Im Virion ist das RNA-Genom mit Kapsid(C, oder "Core")-Proteinen komplexiert. Dieser Nukleoprotein-Komplex wird von einer Lipid-Doppelmembran umhüllt, in die zwei oder drei Spezies von Hüll(E, oder "Envelope")-Proteinen eingelagert sind. Es wird vermutet, dass Bindung des Viruspartikels an die Zelle und Eintritt ("Entry") über eine Rezeptor-medierte Endozytose erfolgt. Die Virus-Hüllproteine assoziieren dabei mit einem zellulären Rezeptor: Verschiedene experimentelle Daten weisen bei HCV auf eine Interaktion des Envelope-Proteins E2 mit CD81 und/oder dem low density lipoprotein(LDL)-Rezeptor (für Review siehe Lindenbach and Rice, 2001). Bei BVDV wurde eine Interaktion mit CD 46 und dem LDL-Rezeptor festgestellt (Müller et al. 2000; Agnello et al., 2000). Durch Fusion 20 der Virushülle mit der Membran, katalysiert durch niedrigen pH, kommt es zur Freisetzung des Nukleokapsids in das Zytoplasma. Ein unbekannter Mechanismus führt zur Dissoziation der viralen Kapsidproteine und zur Freisetzung (Uncoating – Freisetzung, Entmantelung des Virus-core) des Genoms (für Review siehe Lindenbach and Rice, 2001).

25

### 30 2.2. Genexpression der *Flaviviridae*

[0023] Die virale RNA umfasst ein einziges translationales Leseraster ("open reading frame"; ORF), das am 5'- und am 3'-Ende von nicht-translatierten Regionen (UTRs) umrahmt wird. Die Translation führt zur Synthese eines instabilen Polyproteins, das ko- und posttranslational in virale Polypeptide gespalten wird.

35 [0024] Entsprechend der Ähnlichkeiten der Genomstruktur sind bei den Mitgliedern der *Flaviviridae* auch die Vorgänge, die zur Prozessierung des Polyproteins führen, weitgehend konserviert. Dies gilt insbesondere für Pestiviren und HCV. Der aminotermrale Bereich des Po-

lyproteins enthält die Polypeptidsequenzen für die strukturellen Komponenten des Virions, das heißt für das Kapsid-Protein, C, sowie für mindestens zwei virale Envelope-Proteine (Flaviviren: prM, E, NS1; Pestiviren: E<sup>ms</sup>, E1, E2; HCV: E1, E2). Die Strukturproteine werden in erster Linie von Signalpeptidasen der Wirtszelle aus dem Polyprotein generiert. Die Envelope-Proteine, die stark glykosiliert werden, assoziieren zu Homo- und Heterodimeren: Bei Pestiviren und HCV sind E2-E2- und E2-E1-Dimere dokumentiert. Die Funktion des löslichen pestiviralen Envelope-Proteins E<sup>ms</sup> ist bisher unklar: Es besitzt eine Ribonuklease-Funktion und wird für die Infektion in Zellkultur nicht benötigt. Die Dimerisierung spielt beim Virus-Entry eine wichtige Rolle (für Review, siehe Lindenbach and Rice, 2001). Die Prozessierung des C-terminalen Nicht-Struktur(NS)-Polyproteins NS2A-NS2B-NS3-NS4A-NS4B-NS5 (bei Flaviviren) bzw. NS2-NS3 (bei Pestiviren NS2-3) - NS4A-NS4B-NS5A-NS5B (bei Pestiviren und bei HCV), wird bei allen drei Genera vorwiegend durch einen viralen Proteasekomplex katalysiert. Dieser besteht aus einer Serinprotease, die sich im amino-terminalen Bereich des NS3-Proteins befindet und einem Kofaktor (NS2B bei Flaviviren, NS4A bei Pestiviren und HCV). Bei Flaviviren generiert der NS3-NS2B-Komplex alle NS-Proteine, lediglich die Proteolyse zwischen NS4A-NS4B wird durch eine zelluläre Signalseaktivität katalysiert. Bei Pestiviren und HCV spaltet NS3-4A das komplette NS-Polyprotein mit Ausnahme von NS2-NS3. Letztere Spaltung erfolgt bei HCV durch eine Autoprotease katalysiert, die an dieser Stelle lokalisiert ist (für Review, siehe Lindenbach and Rice, 2001). Beim Pestivirus BVDV ist das Ausmaß der proteolytischen Spaltung zwischen NS2 und NS3 interessanterweise mit einem zytopathischen Effekt der Virusinfektion verknüpft.

[0025] Weiterhin wurde gezeigt dass es sich bei NS5 (bei Flaviviren) bzw. NS5B (Pestiviren, HCV) um die virale RNA-abhängige RNA-Polymerase (RdRp) handelt. Die Funktionen von NS4B und NS5A sind bislang ungeklärt.

25

### 2.3. Genomreplikation der *Flaviviridae*

[0026] Entsprechend dem allgemeinen Replikations-Modell von Positiv-Strang RNA-Viren assoziiert im Zytoplasma der von *Flaviviridae* infizierten Wirtszelle in direkter funktioneller Kopplung an Translation und Proteolyse des Polyproteins ein funktioneller membrangebundener Replikationskomplex, der aus der viralen RNA sowie viralen und zellulären Faktoren besteht. Dieser Komplex katalysiert zunächst die Synthese einer geringen Anzahl komplementärer Minus-Strang RNA-Molekülen; diese dienen dann in einem zweiten Schritt als Matrize für die Synthese eines signifikanten Überschusses neuer Plus-Strang RNA-Genome.

[0027] In den vergangenen Jahren ist der RNA-Replikationsprozess besonders bei Pestiviren intensiv untersucht worden. Maßgebliche Gründe hierfür waren das bereits erwähnte Fehlen eines infizierbaren Zellkultursystems für HCV und der Modellcharakter von Pestiviren für HCV. Basierend auf Daten mit BVDV konnte kürzlich auch ein effizientes Replikations-

system für das HCV etabliert werden (Lohmann et al. 1999). Für Pestiviren stehen bereits seit geraumer Zeit infizierbare Zellen in Kultur zur Verfügung. Zudem wurden 1996 "infektiöse cDNA Konstrukte" für BVDV und CSFV konstruiert, von denen aus sich durch *in vitro*-Transkription komplett virale RNA-Genommoleküle gewinnen lassen. Nach Transfektion in 5 Wirtszellen sind diese RNA-Moleküle in der Lage, den kompletten pestiviralen Lebenszyklus bis hin zur Synthese neuer Viruspartikel zu durchlaufen (Moormann et al., 1996; Meyers et al., 1996). Durch Mutagenese der cDNA können Mutationen gezielt in die viralen RNA-Transkripte eingeführt werden und deren Effekt auf den viralen Lebenszyklus bestimmt werden ("reverse Genetik").

10 [0028] Die identische Organisation von Pestivirus und HCV-Replikons ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass die generellen molekularen Mechanismen, die der viralen RNA-Replikation unterliegen, zwischen beiden Genera konserviert sind. Im Falle von HCV ist es aber weder mit Virusisolaten aus Patienten noch mit *in vitro*-transkribierter kompletter genetischer RNA (Pietschmann et al., 2002) gelungen, den viralen Lebenszyklus in Zellkultur zu 15 reproduzieren. Bei Untersuchungen, die den Eintritt des Virus in die Zelle, das Uncoating des Genoms sowie die Maturierung und Sekretion von Nachkommenviren betreffen, ist man also dringend auf das Pestivirus-Modell angewiesen.

#### 2.4. Virion-Assembly und Sekretion von Nachkommenviren

20 [0029] Die späten Schritte des viralen Lebenszyklus sind bei allen drei *Flaviviridae* Genera kaum untersucht. Man nimmt an, dass ein Anteil der neu synthetisierten Positiv-Strang RNA-Moleküle in "statu nascendi" mit Kapsid-Proteinen zu Nukleokapsid-Partikeln assoziiert. Diese gelangen durch Knospung (engl: Budding) in zytoplasmatische Vesikel des endoplasmatischen Retikulums. Da die Envelope-Proteine bei der Maturierung in der ER-Membran 25 verbleiben, entstehen auf diese Weise die umhüllten Virionen, die die Envelope-Proteine in korrekter Orientierung enthalten. Die Vesikel fusionieren im Zuge der zellulären Sekretion mit der Plasmamembran, wodurch die Viruspartikel in das extrazelluläre Kompartiment freigesetzt werden (Lindenbach and Rice, 2001).

#### 30 2.5. Das Problem der Heterogenität

[0030] Während der Vermehrung von *Flaviviridae* entstehen häufig Mutationen. Deshalb sind die entsprechenden Wirtsorganismen stets mit einer sehr heterogenen Population dieser Viren infiziert. Die Heterogenität beeinflusst die Pathogenese, die Virusresistenz, das Ansprechen auf die Therapie mit Interferonen (IFN) und antiviralen Substanzen 35 (Nukleosidanaloge und andere) sowie die Erkennung infizierter Zellen durch das Immunsystem. Diese Tatsache untermauert, dass neue antivirale Strategien notwendig und sinnvoll sind.

## 2.6. Möglichkeiten der Therapie einer chronischen HCV-Infektion

- [0031] Eine der wenigen Therapiemöglichkeiten einer chronischen HCV-Infektion ist die Behandlung mit Interferon (IFN) alpha und Derivaten. Wesentlicher Nachteil von IFN-Therapien ist, dass diese häufig mit negativen Nebenwirkungen assoziiert sind. Seit 1999 ist für die Therapie der chronischen HCV das Guanosinanalagon Ribavirin in Kombination mit Interferonen zugelassen. Die Wirkungsweise dieses Medikaments ist jedoch nur unvollständig geklärt. Ribavirin hat außerdem häufig eine Reihe von Nebenwirkungen, wobei die Ribavirin-induzierte Hämolyse von besonderer Bedeutung ist. Neben Ribavirin werden weitere Nucleosidanaloga sowie eine Reihe von Substanzen unbekannter Wirkweise verwendet (für Review siehe Trautwein und Manns, 2001). Für alle gegenwärtig zugelassenen Medikamente gegen HCV-Infektion gilt, dass es eine hohe Zahl von Nonrespondern gibt (in der Regel etwa 30-40%). Die Erfolgsrate ist noch geringer bei Koinfektionen verschiedener Viren (z.B. dem humanen Immundefizienzvirus HIV und HCV oder HBV und HCV). Selbst bei klinisch erfolgreicher Behandlung werden alle viralen Reservoirs nur selten komplett eliminiert und können zu einer Reaktivierung der Infektion führen (Rehermann et al., 1996). Bei fehlendem Ansprechen auf die Therapie oder gar einer Reaktivierung der Virusreplikation können grundsätzlich nur neue Medikamente helfen, wie sie in dieser Erfindung beschrieben werden. Die Risiken des Einsatzes aller bisher eingesetzten antiviralen Medikamente sind noch nicht mit Sicherheit zu beurteilen. Nukleosidanaloga wie Ribavirin bergen prinzipiell die Gefahr, dass resistente Viren entstehen und dass es zu Mutationen im Wirtsgenom kommt, die Anlass zur Entstehung von Krebs geben könnten. Die im Rahmen der hier vorgestellte Erfindung genannten neuen Medikamente sind nicht mit diesen Risiken behaftet bzw., diese sind sehr viel unwahrscheinlicher oder nicht zu erwarten.
- [0032] Folgende Patentschriften, welche die vorliegende Erfindung nicht unmittelbar betreffen, wurden veröffentlicht: ein Verfahren zur Bestimmung der Proteasom-Aktivität in biologischen Proben (WO 00/23614); die Verwendung von Proteasom-Inhibitoren als Mittel zur Behandlung von Krebs, Entzündungen und Autoimmunerkrankungen (WO 99/22729); die Verwendung von Inhibitoren des UPS als Mittel zur Behandlung von Entzündungen und Autoimmunerkrankungen (WO 99/15183).

## Wesen der Erfindung

- [0033] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Mittel zur Hemmung der Freisetzung und der Infektiosität von Mitgliedern der *Flaviviridae*, insbesondere von Hepatitis-C-Viren zur Verfügung zu stellen. Die Aufgabe wurde durch den Einsatz von mindestens einem Proteasom-Inhibitor in einer pharmazeutischen Zubereitung gelöst. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung können als Proteasom-Inhibitoren Substanzen eingesetzt werden, welche die Aktivitäten des zellulären Proteasom-Pathway hemmen, regulieren oder

welche die Aktivitäten des zellulären Proteasom-Pathway hemmen, regulieren oder anderweitig beeinflussen. Es ist auch möglich, dass als Proteasom-Inhibitoren Substanzen eingesetzt werden, die speziell die enzymatischen Aktivitäten des kompletten 26S Proteasom-Komplexes und der freien, nicht mit regulatorischen Untereinheiten assemblierten 20S katalytisch aktiven Proteasom-Struktur beeinflussen. Diese Inhibitoren können entweder eine oder mehrere oder alle der drei hauptsächlichen proteolytischen Aktivitäten des Proteasoms (die Trypsin-, die Chymotrypsin- und die Postglutamyl-Peptid hydrolysierenden Aktivitäten) innerhalb des 26S- oder auch des 20S-Proteasom-Komplexes hemmen.

[0034] Eine Variante der Erfindung besteht darin, als Proteasom-Inhibitoren Substanzen einzusetzen, die von Zellen höherer Eukaryoten aufgenommen werden und nach Zellaufnahme mit der katalytischen beta-Untereinheit des 26S-Proteasoms in Wechselwirkung treten und dabei alle oder einzelne der proteolytischen Aktivitäten des Proteasom-Komplexes irreversibel oder reversibel blockieren.

[0035] Als eine weitere Form der Erfindung kommen Mittel zum Einsatz, welche die Aktivitäten der Ubiquitin-konjugierenden wie auch der Ubiquitin-hydrolysierenden Enzyme hemmen. Polyubiquitinierung gilt allgemein als ein Erkennungssignal für die Proteolyse durch das 26S-Proteasom, und Beeinflussung des Ubiquitin-Pathway kann ebenfalls die Aktivität des Proteasoms regulieren.

[0036] Erfindungsgemäß werden als Proteasom-Inhibitoren auch Substanzen eingesetzt, die in verschiedenen Formen *in vivo* oral, intravenös, intramuskulär, subkutan, in verkapselter Form mit oder ohne Zell-Spezifität-tragende Veränderungen oder anderweitig verabreicht werden, aufgrund der Anwendung eines bestimmten Applikations- und Dosis-Regimes eine geringe Zytotoxizität und/oder hohe Selektivität für bestimmte Zellen und Organe aufweisen, keine oder unbedeutende Nebenwirkungen auslösen, eine relativ hohe metabolische Halbwertszeit und eine relativ geringe Ausscheidungs(Clearance)-Rate im Organismus aufweisen.

[0037] Als Proteasom-Inhibitoren werden des weiteren Substanzen eingesetzt, die in natürlicher Form aus Mikroorganismen oder anderen natürlichen Quellen isoliert werden, durch chemische Modifikationen aus natürlichen Substanzen hervorgehen oder total-synthetisch hergestellt werden. Dazu gehören:

a) natürlich vorkommende Proteasom-Inhibitoren:

- Epoxomicin und Eponemycin,
- Aclacinomycin A (auch bezeichnet als Aclarubicin),
- Lactacystin und dessen chemisch modifizierte Varianten, insbesondere die Zellmembran-penetrierende Variante "Clastolactacystein  $\beta$ -Lacton",

b) synthetisch hergestellte:

- modifizierte Peptidaldehyde wie zum Beispiel N-carbobenzoxy-L-leucinyl-L-leucinyl-L-leucinal (auch bezeichnet als MG132 oder zLLL), dessen Borsäure-Derivat MG232; N-

carbobenzoxy-Leu-Leu-Nva-H (bezeichnet als MG115); N-Acetyl-L-Leuzinyl-L-Leuzinyl-L-Norleuzinal (bezeichnet als LLnL); N-carbobenzoxy-Ile-Glu(OBut)-Ala-Leu-H (auch bezeichnet als PSI);

- Peptide, die C-terminal  $\alpha,\beta$ -Epoxyketone (auch bezeichnet als Epoxomicin oder Eponemycin), Vinyl-sulphone (zum Beispiel Carbobenzoxy-L-Leucinyl-L-Leucinyl-L-Leucin-vinyl-sulfon oder 4-Hydroxy-5-iodo-3-nitrophenylactetyl-L-Leucinyl-L-Leucinyl-L-Leucin-vinyl-sulfon, auch bezeichnet als NLVS ), Glyoxal oder Borsäure-Reste (zum Beispiel Pyrazyl-CONH(CHPhe)CONH(CHisobutyl)B(OH)<sub>2</sub>), auch bezeichnet als "PS-431" oder Benzoyl(Bz)-Phe-boroLeu, Phenacetyl-Leu-Leu-boroLeu, Cbz-Phe-boroLeu);  
10 Pinacol-Ester - zum Beispiel Benzyloxycarbonyl (Cbz)-Leu-Leu-boroLeu-Pinacol-Ester - tragen;

und

- als besonders geeignete Verbindungen werden Peptide und Peptid-Derivate eingesetzt, welche C-terminal Epoxyketon-Strukturen tragen, hierzu zählen beispielsweise Epoxomicin (Molekülformel: C<sub>28</sub>H<sub>86</sub>N<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) und Eponemycin (Molekülformel: C<sub>20</sub>H<sub>36</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>);  
15
- chemisch modifizierte Derivate auf der Basis von natürlich vorkommenden, insbesondere ein  $\beta$ -Lacton-Derivat mit der Bezeichnung PS-519 (1R-[1S, 4R, 5S])-1-(1-Hydroxy-2-methylpropyl)-4-propyl-6-oxa-2-azabicyclo[3.2.0]heptane-3,7-dione, Molekülformel: C<sub>12</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>4</sub>), welches sich von dem natürlichen Proteasom-Inhibitor Lactacystin ableitet;  
20
- bestimmte Dipeptidyl Borsäure-Derivate, insbesondere Verbindungen, welche sich von dem Pyranoyl-Phenyl-Leuzinyl-Borsäure-Derivat mit dem Namen "PS-341" (N-Pyrazinecarbonyl-L-Phenylalanin-L-leuzin-Borsäure, Molekülformel: C<sub>19</sub>H<sub>25</sub>BN<sub>4</sub>O<sub>4</sub>) ableiten. Hierzu zählen weiterhin die Verbindungen "PS-273" (Morpholin-CONH-(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>) und dessen Enantiomer PS-293, die Verbindung PS-296 (8-Quinolyl-sulfonyl-CONH-(CH-Naphthyl)-CONH(-CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>);  
25
- die Verbindung PS-303 (NH<sub>2</sub>(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>); die Verbindung PS-321 (Morpholin-CONH-(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-Phenylalanin)-B(OH)<sub>2</sub>); die Verbindung PS-334 (CH<sub>3</sub>-NH-(CH-Naphthyl-CONH-(CH-Isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>); die Verbindung PS-325 (2-Quinol-CONH-(CH-homo-Phenylalanin)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>); die Verbindung PS-352 (Phenylalanin-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CONH-(CH-Phenylalanin)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>); die Verbindung PS-383 (Pyridyl-CONH-(CHpF-Phenylalanin)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>). Alle diese Verbindungen wurden bereits beschrieben, unter anderem in Adams et al. (1999).  
30

- 35 [0038] Als besonders geeignete Verbindungen haben sich, neben Epoxomicin und Eponemycin, die Proteasom-Inhibitoren PS-519, PS-341 und PS-273 (Millennium Pharmaceuticals Inc., Cambridge, MA 02139, USA) erwiesen. Diese Proteasom-Inhibitoren sind sehr potent,

sehr spezifisch für das Proteasom, blockieren keine anderen zellulären Proteasen und haben daher so gut wie keine Nebenwirkungen. Die Proteasom-Inhibitoren PS-341 und PS-519 wurden außerdem sowohl in Tiermodellen für vorklinische als auch in Menschen (Krebspatienten) für klinische Studien getestet.

5

[0039] Die erfindungsgemäß eingesetzten Mittel sind dadurch gekennzeichnet, dass sie sich zur Hemmung der Freisetzung, Reifung und Replikation von Hepatitis-C-Virus (HCV), zur Behandlung und Prophylaxe von HCV-bedingten Hepatitiden, Flavivirus-bedingtem Fieber, von Hämmorrhagien, Leukopenie, Thrombozytopenie, von Durchfallerkrankungen, Encephalitiden sowie von Pestivirus-verursachten Krankheiten eignen.  
10

[0040] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird überraschenderweise festgestellt, dass Proteasom-Inhibitoren frühe oder späte Prozesse im Lebenszyklus des BVDV Pestivirus und des West-Nil-Flavivirus hemmen. Die intrazelluläre Replikation von BVDV- und HCV-RNA-Replikons wird dagegen von den Proteasom-Inhibitoren nicht oder kaum beeinflusst. Speziell wurde beobachtet, dass sich die erfindungsgemäße Verwendung von Proteasom-Inhibitoren dazu eignet, die Produktion von infektiösen Virionen in mit BVDV- und West-Nil-infizierten Zellen weitgehend oder vollkommen zu unterbinden. Nach Behandlung von BVDV- und West-Nil-Virus-produzierenden Zellen mit Proteasom-Inhibitor tritt eine nahezu vollständige Reduktion der Infektiosität der freigesetzten Virionen ein. In Folge dieser neuartigen Aktivitäten können Proteasom-Inhibitoren bei verschiedenen Mitgliedern der *Flaviviridae*-Familie die Neuinfektion von Wirtszellen und damit die Ausbreitung einer Infektion *in vivo* unterdrücken.  
15  
20

[0041] Als weiterer wichtiger Punkt der Erfindungsbeschreibung, der vor allem im Zusammenhang mit HCV-Infektionen von Bedeutung ist, wurde festgestellt, dass die Behandlung von Hepatomazellen mit Proteasom-Inhibitoren bevorzugt das Absterben dieser Krebszellen induziert, während gesunde, primäre Hepatozyten und andere, nicht proliferierende Leberzellen sehr viel resistenter gegenüber einer Behandlung mit Proteasom-Inhibitoren sind. Leberkarzinome sind medikamentös kaum behandelbar und führen in der Regel ohne Lebertransplantation oder Leberresektion zum Tod. Proteasom-Inhibitoren erlangen dadurch ein weiteres therapeutisches Potential für die Behandlung von Hepatitis-C-Virusinfektionen: Durch die Behandlung mit Proteasom-Inhibitoren kann nicht nur die Ausbreitung der Infektion (durch Blockierung der Produktion infektiöser Virionen), sondern auch die mit der Infektion verbundene Entstehung von Leberzell-Karzinomen unterdrückt, verhindert oder ein bereits etablieretes Leberzellkarzinom geheilt werden. Dieser Anspruch beruht auf der Tatsache, dass die Behandlung mit Proteasom-Inhibitoren - ähnlich der bereits bekannten anti-neoplastischen Wirkung von Proteasom-Inhibitoren auf eine Vielzahl von Tumoren - eine spezifische Eliminie-  
25  
30  
35

rung von Leberkarzinomzellen *in vivo* bewirken kann. Die anti-neoplastische Wirkung von Proteasom-Inhibitoren wurde bislang nicht für Leberzellkarzinome gezeigt und stellt daher ein neuartiges therapeutisches Prinzip dar. Proteasom-Inhibitoren können somit zur Behandlung/Bekämpfung/Verhinderung von HCV-induzierter Leberzirrhose, insbesondere primären Leberzellkarzinomen eingesetzt werden.

[0042] Die Behandlung der Hepatitis C mit Proteasom-Inhibitoren ist wegen der weiten Verbreitung, der besonders hohen Pathogenität sowie wegen der Assoziation der chronischen Infektion mit der Entwicklung eines Leberkarzinoms von besonderer Bedeutung. Die Daten mit BVDV und West-Nil-Virus rechtfertigten ferner den Anspruch, dass Proteasom-Inhibitoren unter Verwendung der neuartigen anti-viralen Wirkung auch für die Behandlung anderer Hepatitis-Viren (A, B, D, E und F), GB-Viren sowie weiterer *Flaviviridae* wie zum Beispiel Dengue-Fieber-Virus oder Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) Virus eingesetzt werden können.

[0043] Die Proteasom-Inhibitoren können auch in Kombination mit anderen anti-Hepatitis-Medikamenten und sonstigen Therapieschemata eingesetzt werden, z.B. Interferon alpha/beta/gamma und Varianten hiervon (zum Beispiel pegyierte Interferone), Interleukine, Nukelosidanaloga (Lamivudine, Cidovir, Ribavirin und andere), Steroide, Plasma-Austausch, Thymosin alpha 1, Impfstoffe, passive und aktive Vakzinierung, therapeutische und prophylaktische Vakzinierung, Glycyrrhizin, Stammzell-transplantation, Organtransplantationen, Nahrungstherapie, Immunsuppressiva, Cyclosporine und Derivate hiervon, Amanditin und Derivate, Interleukine und andere Cytokine, nicht Proteasom-selektive Protease-Inhibitoren, Azathioprin, Hämodialyse sowie hoch aktive antiretrovirale Therapie (highly active antiretroviral therapy, "HAART") bei Co-Infektionen von HCV und HIV. Da Proteasom-Inhibitoren auch anti-virale Wirkung auf HIV ausüben, ist eine Behandlung von HCV/HIV-Koinfektionen, insbesondere in Kombination mit HAART-Therapie, ein Anwendungsschwerpunkt der Erfindung.

[0044] Die erfindungsgemäße Verwendung von Proteasom-Inhibitoren besteht in der Hemmung des Entry/Internalisierung- und Uncoating-Prozesses von *Flaviviridae* sowie in der Hemmung der Assemblierung, Reifung und Freisetzung von Nachkommenviren. Die Verwendung zur Hemmung der Vermehrung von *Flaviviridae* erfolgt nach den Mechanismen

- Blockierung/Reduktion der Assemblierung und Freisetzung von neuen Virionen
- Blockierung/Reduktion der Infektiosität der freigesetzten Virionen
- Blockierung/Reduktion der Infektionsausbreitung in kultivierten Zellen.

[0045] Dies impliziert, dass Proteasomeninhibitoren die Ausbreitung von Nachkommenviren in infizierten Organen inhibieren.

[0046] Eine weitere Verwendung von Proteasom-Inhibitoren liegt in der Induktion des Absterbens von Hepato-Karzimonzellen, in der Unterdrückung und/oder Verhinderung des Entstehens von Leberzell-Karzinomen sowie in der Therapie von Patienten mit etablierten Leberzellkarzinomen.

5 [0047] Eine weitere Verwendung besteht in der Behandlung/Bekämpfung/Verhinderung von

- HCV-induzierter Leberzirrhose und/oder
- HCV-induzierten Leberzellkarzinomen
- Medikamenten-induzierten Leberkarzinomen
- genetisch bedingten Leberkarzinomen und/oder
- 10 - durch die Umwelt bedingten Leberkarzinomen.

[0048] Eine weitere Verwendung liegt in der gezielten Eliminierung von Leberkarzinomzellen, die infolge einer

- HCV-Infektion und/oder
- HCV-HBV-Koinfektion
- 15 - HCV-HBV-HDV-Koinfektionen

entstehen.

[0049] Weiterhin finden Proteasom-Inhibitoren Verwendung zur

- Verhinderung der Entstehung, des Wachstums und der Metastasierung von Leberzelltumoren sowie zur bevorzugten Zerstörung von Leberkarzinomzellen in HCV-infizierten 20 Patienten
- Modulation der Expression, Modifizierung und Aktivität des Tumorsuppressor-Proteins p53 und andere HCC-relevanter Tumorsuppressorproteine
- Leberzellregeneration bei Patienten mit Leberentzündung
- Reduktion der Anzahl infizierter Virus-produzierender Zellen im Leberzellgewebe
- 25 - Hemmung sowohl der Erhaltung und Persistenz einer bereits etablierten Infektion als auch einer Sekundärinfektion und somit der Ausbreitung einer Infektion, einschließlich der Blockierung der Ausbreitung einer HCV-Infektion in vivo
- Behandlung von Koinfektionen mit HCV und Immundefizienzviren HIV-1 und HIV-2
- Behandlung von HCV/HIV-Koinfektionen in Kombination mit der HAART-Therapie
- 30 - Verhinderung einer Re-Infektion mit HCV bei Leber- und anderen Organtransplantationen
- Verhinderung einer Re-Infektion mit HCV bei Zelltherapien durch Gabe der Mittel vor, während und nach der Transplantation
- Behandlung und Bekämpfung von Hepatitiden in Kombination untereinander
- 35 - Verhinderung einer Re-Infektion mit HCV bei der Transplantation von virusfreien Organen auf chronische Virusträger, die Restvirus haben und sich neue Organe infizieren kön-

nen wie auch bei der Übertragung von Virus-haltigen Organen von Spendern auf virus-freie Patienten

- Verhinderung der Etablierung einer systemischen Hepatitis-Virus-Infektion unmittelbar nach Kontakt mit infektiösem Virus oder zur
- 5 - Minderung oder Eliminierung der Leberentzündung durch Immunsystem-vermittelte Mechanismen.

[0050] Eine weitere Verwendung von Proteasom-Inhibitoren besteht in der Verhinderung der Etablierung einer systemischen Hepatitis-Virusinfektion unmittelbar nach Kontakt mit infektiösem Virus (zum Beispiel bei Nadel-Stich-Verletzungen mit Virus-kontaminiertem Blut oder Blutprodukten).

[0051] Eine weitere Verwendung von Proteasom-Inhibitoren ist die Vorbeugung einer Hepatitis-Virusinfektion bei Personen mit hohem Risiko einer Neuinfektion, zum Beispiel bei Ärzten und anderem Risiko-Personal, Drogenabhängigen, Reisenden in hochendemische Gebiete für Hepatitis-Viren, in der Krankenbehandlung, für Familienangehörige von chronischen Virusträgern.

[0052] Eine weitere Verwendung von Proteasom-Inhibitoren besteht in der Verhinderung einer Re-Infektion mit HCV bei Leber- und anderen Organtransplantationen sowie bei Zelltherapien durch Gabe der Mittel vor, während und einige Zeit nach der Transplantation. Die Gabe dieser Mittel ist angezeigt sowohl für die Hochrisikosituation bei der Transplantation von 20 virusfreien Organen auf chronische Virusträger, die immer Restvirus haben und wo sich neue Organe infizieren können, als auch für die Übertragung von Virus-haltigen Organen von Spendern auf virusfreie Patienten.

[0053] Eine weitere Verwendung besteht in der Behandlung von HCV-induzierten Autoimmunerkrankungen wie zum Beispiel der gemischten TypII Kryoglobulinämie.

[0054] Eine weitere Verwendung liegt in der Kombination mit bereits in der anti-HCV-Therapie verwendeten Therapeutika.

[0055] Eine wesentliche Anwendung besteht in der Verwendung von Proteasom-Inhibitoren zur Herstellung von Mitteln bzw. pharmazeutischen Zubereitungen zur Hemmung der Freisetzung, Reifung und Replikation von Hepatitisviren sowie zur Herstellung von Arzneimitteln 30 zur Behandlung und Prophylaxe von Hepatiden.

[0056] Eine weitere Anwendung besteht darin, dass Proteasom-Inhibitoren die post-transkriptionale Modifikation der Virus-Strukturproteine verändern und somit die Freisetzung und Infektiosität von Flaviviridae herabsetzen oder blockieren.

[0057] Eine weitere Verwendung von Proteasom-Inhibitoren besteht in der Behandlung von 35 mit Flavivirus infizierten Personen, also zum Beispiel Personen, die akut an West-Nil-, Gelbfieber, Dengue-Fieber (7-Tage-Fieber oder Dengue Hämorrhagischem Fieber) oder Arbovirus-Encephalitis erkrankt sind. Proteasom-Inhibitoren können auch hier zur Vorbeugung einer

Virusinfektion bei Risikopersonen wie Ärzten oder Reisenden in hochendemische Gebiete für West-Nil-Virus, Dengue-Fieber-Virus, Gelbfieber-Virus oder FSME-Virus eingesetzt werden. [0058] Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist die Behandlung von Pestivirus-infizierten Stalltieren mit Proteasom-Inhibitoren.

5

[0059] Zur Lösung der Aufgabe wurden im Rahmen der Erfindung molekularvirologische, biochemische, immunbiologische und elektronenmikroskopische Studien an Zellen durchgeführt, die mit verschiedenen Vertretern der *Flaviviridae* infiziert oder mit viralen RNA-Molekülen transfiziert wurden. Erfindungsgemäß wurden die durch Proteasom-Inhibitoren ausgelösten Defekte durch folgende Mittel und Verfahren bestimmt: (i) Viruspräparationen von BVDV (Stamm CP7) und West-Nil-Flavivirus mit definierter Titer infektiöser Einheiten; (ii) Virus-Endpunkt-Titrationsverfahren durch mikroskopische Detektion infektiöser viraler Partikel über Plaque-Formation oder Immunfärbeverfahren; (iii) cDNA-Konstrukte zur Herstellung subgenomischer BVDV- und HCV-RNA-Replikon durch *in vitro*-Transkription; (IV) RNase-Protektionsverfahren zur Detektion/Quantifizierung viraler RNA-Moleküle; (v) Immunfluoreszenz-Tests zur Bestimmung der Replikationsfähigkeit viraler RNA-Moleküle bzw. zur Bestimmung der Ausbreitung einer Infektion; (vi) Elektronenmikroskopische Verfahren zur Untersuchung der Morphologie viraler Partikel während und nach dem Infektionsvorgang, (vii) Western-Blot Studien und Immunopräzipitationsverfahren an BVDV- und HCV-Proteinen.

[0060] Die Prinzip-Lösung der Aufgabe wird an den Beispielen von BVDV und West-Nil-Virus gezeigt, d.h. zwei charakteristischen Vertretern der Genera *Pestivirus* bzw. *Flavivirus* der *Flaviviridae*-Familie. In Kontrollversuchen wurde zunächst dargestellt, dass eine Vorbehandlung der Target-Zellen (MDBK-Zellen für BVDV, BHK-21-Zellen für West-Nil-Virus) mit nicht-zytotoxischen Konzentrationen verschiedener Substanzklassen von Proteasom-Inhibitoren keinen Einfluss auf eine nachfolgende Infektion der Viren hat. Ebenso wurde gezeigt, dass eine Vorbehandlung von BVD-Viren und West-Nil-Viren mit nicht-toxischen Konzentrationen verschiedener Proteasom-Inhibitoren keinen Einfluss auf deren Infektiosität hat.

[0061] Im Rahmen der Erfindung wird erstmalig gezeigt, dass die Behandlung von bereits infizierten Zellen mit verschiedenen Proteasom-Inhibitoren die Produktion von infektiösen Viruspartikeln signifikant hemmt: Durch Virus-Endpunkt-Titration auf nicht-infizierten Zellen wurde erfindungsgemäß festgestellt, dass die Anzahl freigesetzter infektiöser Nachkommenviren aus infizierten Zellen, die mit Proteasom-Inhibitoren behandelt wurden, im Vergleich zu Mock-behandelten Zellen um mehrere log-Stufen sinkt. Neben der drastischen Reduktion der Anzahl an Nachkommenviren verursacht die Behandlung mit Proteasom-

Inhibitoren auch eine deutliche Abnahme der spezifischen Infektiosität der Nachkommenviren. Die spezifische Infektiosität wurde über die Anzahl der in den Kulturüberstand infizierter Zellen freigesetzten Virusgenome (gemessen durch quantitative RNase-Protektion) im Verhältnis zum Titer der infektiösen Einheiten bestimmt. In Immunfluoreszenzstudien wurde 5 deutlich, dass sowohl die RNA-Replikation als auch die Ausbreitung der Infektion in Zellkultur unter dem Einfluss verschiedener Proteasom-Inhibitoren stark reduziert ist. Die Reduktion der RNA-Replikation in den infizierten und mit Proteasom-Inhibitoren behandelten Zellen wurde erfindungsgemäß durch Messung der RNA-Replikationsprodukte via RNase-Protektion bestätigt.

10 [0062] Weiterhin wurde durch die Verwendung von Western-Blotkinetik-Studien festgestellt, dass die Virusfreisetzung von BVDV-infizierten Zellen signifikant reduziert ist, wenn diese Zellen kurze Zeit nach einer Infektion mit Proteasom-Inhibitoren behandelt wurden.

[0063] In überraschendem Gegensatz dazu wurde in einem weiteren Teil der Erfindung festgestellt, dass die verschiedenen Substanzklassen von Proteasom-Inhibitoren nur geringe Effekte auf die Replikation von persistent in MDBK- bzw. Huh-7-Zellen transfizierte BVDV- und HCV-RNA-Replikons haben. Diese Ergebnisse zeigten, dass Proteasom-Inhibitoren nicht oder nur in geringem Maße mit folgenden durch virale Elemente und Faktoren katalysierten Vorgängen interferieren: (i) Mit der Translation der viralen RNA über das in der 5'-UTR enthaltene IHRES (interne Ribosomen-Eintrittsstelle) -Element; (ii) Mit der von den viralen Proteasekomplexen NS3/NS4A bzw. NS2-NS3 medierten Proteolyse des Nicht-Strukturpolyproteins; (iii) Mit der von den viralen Proteinen NS3, NS4A, NS4B, NS5A, NS5B (und hypothetischen Zwischenprodukten des Nicht-Strukturpolyproteins) und den nicht-translatierten Regionen des Genoms katalysierten Replikation der viralen RNA. Die Targets klassischer anti-viraler Substanzen, d.h. die IRES, die viralen Proteasen, die NS3-ATPase/RNA-Helikase sowie die NS5/NS5B-RdRp (siehe Einleitung), werden also von Proteasom-Inhibitoren nicht oder nur geringfügig gehemmt. Die drastische Verminderung der Sekretion infektiöser Nachkommenviren bei Behandlung infizierter Zellen mit Proteasom-Inhibitoren kann demnach nicht oder nicht ausschließlich auf die zu beobachtende Verminderung der RNA-Replikationsrate zurückgeführt werden, sondern muss folglich Vorgänge betreffen, die das Virus-Entry und/oder das Uncoating und/oder die Assemblierung und/oder Sekretion von Nachkommenviren betreffen.

[0064] Diese Hypothese wurde erfindungsgemäß durch Virus-Zell-Adhäsionsexperimente und durch elektronenmikroskopische Untersuchungen untermauert. So wurde einerseits festgestellt, dass Nachkommenviren, die aus infizierten Zellen unter Proteasom-Inhibitor-Behandlung freigesetzt werden, bedeutend ineffizienter an Target-Zellen adhärieren. Weiterhin sind nach Behandlung infizierter Zellen mit Proteasom-Inhibitoren im Vergleich zu Mock-behandelten Zellen Unterschiede in der Anzahl der über Elektronenmikroskopie gene-

rell in den Zellen zu detektierenden Viruspartikel, Unterschiede im Verhältnis von kompletten zu nicht-kompletten Virionen sowie Unterschiede in der Morphologie der sekretierten Nachkommenviren festzustellen.

[0065] In einem weiteren Teil der Erfindung wird gezeigt, dass in Gegenwart von Proteasom-Inhibitoren signifikante Veränderungen in der post-translationalen Modifikation der BVDV- und HCV-Strukturproteine, der Prozessierung des Strukturprotein-Polyproteins und der Dimerisierungsfähigkeit der Envelope-Proteine auftreten. Diese Veränderungen könnten damit kausal die Effekte von Proteasom-Inhibitoren auf den viralen Lebenszyklus, wie sie bei Pestiviren und Flaviviren festgestellt wurden, erklären.

[0066] Erfindungsgemäß wird damit gezeigt, dass der hemmende Effekt von Proteasom-Inhibitoren auf die Virusvermehrung von verschiedenen Vertretern der *Flaviviridae*-Familie auf folgenden Mechanismen beruht:

1. Blockierung/Reduktion des Entry- und/oder Uncoating-Prozesses der viralen RNA.
2. Blockierung / Reduktion des Assembly und / oder der Sekretion von Nachkommenviren.
3. Blockierung/Reduktion der Infektiosität von freigesetzten Virionen.
4. Blockierung/Reduktion der Infektionsausbreitung.

[0067] Diese Mechanismen implizieren, dass Proteasomen-Inhibitoren die Infektionsausbreitung von verschiedenen Mitgliedern der *Flaviviridae*-Familie auch in infizierten Organen blockieren. Die ausgeprägten Homologien von Pestiviren und Hepatitis-C-Viren rechtfertigt ferner die Annahme, dass Proteasomeninhibitoren eine ähnliche Wirkung bei HCV-Infektionen haben.

[0068] In einem weiteren Teil der Erfindung wird gezeigt, dass primäre Leberzellen relativ resistent gegenüber Proteasom-Inhibitoren sind (bis zu einer Konzentration von etwa 10 µM), während proliferierende Karzinomzellen, darunter auch Leberkarzinomzellen, bereits bei 1000-fach niedrigeren Konzentrationen von Proteasom-Inhibitoren abgetötet werden. Das im Vergleich zu primären Hepatozyten bevorzugte Absterben von Leberkarzinomzellen begründet sich in der anti-neoplastischen Wirkung von Proteasom-Inhibitoren. Damit besteht der wesentliche Vorteil dieser Erfindung darin, dass mit der Behandlung von Proteasom-Inhibitoren zwei wesentliche Effekte ausgelöst werden können, die für die Bekämpfung von durch HCV-Infektionen verursachte Lebererkrankungen von großer Bedeutung sind: Zum einen wird die Produktion von infektiösen Viruspartikeln und damit die Infektionsausbreitung im Organismus gehemmt. Zum anderen wird die Entstehung, das Wachstum und die Metastasierung von Leberzelltumoren verhindert, welche infolge einer HCV-Infektion nach einer Persistenzphase sehr häufig auftritt. Darüber hinaus werden bereits bestehende Leberkarzinome

durch die Proteasom-Inhibitoren zerstört, nicht aber die wenig oder nicht proliferierenden normalen Zellen der Leber.

[0069] Aufgrund dieser neuartigen Behandlungsmethode können daher vielfältige therapeutische Effekte durch den Einsatz von Proteasom-Inhibitoren bei Infektionen mit Mitgliedern der *Flaviviridae*-Familie ausgelöst werden. Neben den ausgeführten Vorteilen besteht ein weiterer wesentlicher Vorteil darin, dass mit dieser Strategie zelluläre Faktoren getroffen werden, welche für den Lebenszyklus von *Flaviviridae* essentiell sind, die jedoch eine im Vergleich zu viralen Faktoren erheblich höhere genetische Stabilität haben. Aufgrund dieser genetischen Stabilität der Zielstruktur dieser neuartigen anti-viralen Strategie ist mit dem Auftreten von Resistenz-Erscheinungen, wie sie für viele der bislang bekannten Inhibitoren von RNA-Viren beobachtet werden konnten, nicht zu rechnen.

[0070] Die Merkmale der Erfindung gehen aus den Elementen der Ansprüche und aus der Beschreibung hervor, wobei sowohl einzelne Merkmale als auch mehrere in Form von Kombinationen vorteilhafte Ausführungen darstellen, für die mit dieser Schrift Schutz beantragt wird. Das Wesen der Erfindung liegt in der Verwendung bekannter Mittel zu einem neuen Zweck und in einer Kombination bekannter Elemente - den Proteasom-Inhibitoren - und einer neuen Wirkung - ihrem Einsatz zur Behandlung von *Flaviviridae*-Infektionen - die in ihrer neuen Gesamtwirkung einen Vorteil und den erstrebten Erfolg ergeben, der darin liegt, dass nun mehr Mittel zur Vorbeugung, Behandlung, Therapie und Hemmung der von verschiedenen Mitgliedern der Virusfamilie *Flaviviridae* (Genera: Flavivirus, Pestivirus, Hepacivirus) verursachten Krankheiten beim Menschen und bei Tieren zur Verfügung stehen.

[0071] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ebenfalls dargestellt, dass durch den Einsatz von Proteasom-Inhibitoren die Produktion von BVDV von infizierten Zellen verhindert werden kann. Zur Lösung dieser Aufgabe werden kultivierte Zellen mit BVDV (Stamm CP7, NADL) infiziert und nach Ausbreitung der Infektion in der Kultur im Verlauf einer Zeitkinetik BVDV-Virionen isoliert und deren Menge biochemisch quantifiziert. Damit wird bewiesen, dass unter Verwendung verschiedenster Proteasom-Inhibitoren die Produktion von Virionen der *Flaviviridae*-Familie in einer infizierten Zelle gehemmt werden kann.

[0072] Das in der Erfindungsbeschreibung dargestellte Prinzip der Verwendung von Proteasom-Inhibitoren zur Blockierung einer Infektion mit *Flaviviridae* ist neuartig in Hinsicht auf die Verwendung einer bereits bekannten Substanzklasse (den Proteasom-Inhibitoren) für eine neue Aktivität, welche sich in folgenden therapeutischen Konzepten zusammenfassen lässt:

[0073] die Blockierung der Produktion von infektiösen *Flaviviridae* und damit die Verhinderung der Infektionsausbreitung *in vivo*, zum Beispiel dem Leber-Gewebe einer HCV-infizierten Person;

[0074] im Zusammenhang mit den beschriebenen Effekten auf Hepatomazellen betrifft diese Aktivität auch die Induktion des Absterbens von Leberkarzinomzellen, welche in direkter oder indirekter Folge einer Infektion mit HCV entstanden sind.

[0075] Gleichzeitig ist die Verwendung von Proteasom-Inhibitoren auch neuartig hinsichtlich des Anwendungsprinzips. Bislang sind keine Substanzen/ Prinzipien/ Methoden bekannt, welche vorwiegend frühe oder späte Prozesse der Replikation von *Flaviviridae*, speziell die Freisetzung von infektiösen Virionen beeinflussen. Weiterhin ist neu, dass die Verwendung von Proteasom-Inhibitoren zur Blockierung des Lebenszyklus von *Flaviviridae* führt. Neuartig ist die bei der Applikation von Proteasom-Inhibitoren erheblich geringere Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Resistenzmechanismen im Vergleich zu bisherigen anti-viralen Methoden, die bei der Behandlung von RNA-Virus-Infektionen eingesetzt werden. Dies ist begründet durch die Tatsache, dass Proteasom-Inhibitoren weniger essentielle Komponenten des Virus direkt treffen, als vielmehr auf zelluläre Funktionen wirken, die offenbar für die Virionengenese wichtig sind. Die ist spezifisch messbar an den Effekten die Proteasom-Inhibitoren auf die Modifikation und Prozessierung sowie das Assoziationsverhalten der Virus-Strukturproteine.

[0076] Neuartig ist weiterhin das Prinzip der Wirkung von Proteasom-Inhibitoren, die zwar nicht die Initiation der Virusinfektion, wohl aber die Produktion von infektiösen Viruspartikeln von bereits mit *Flaviviridae* infizierten Zellen verhindern. Dadurch wird wesentlich die Menge an infektiösen Virionen (Viruslast) und somit die Infektionsausbreitung *in vivo* reduziert.

[0077] Aus der Summe dieser neuartigen Mechanismen lässt sich feststellen, dass die verminderte Freisetzung von noch dazu wenigen oder gar nicht infektiösen Viruspartikeln im Netto-Effekt im Falle einer *in vivo*-Anwendung von Proteasom-Inhibitoren die Menge an infektiösen Virionen in einem infizierten Organismus verringern sollte. Im Falle von HCV ist die Anwendung von Proteasomen-Inhibitoren allein oder in Kombination mit bereits angewendeten anti-viralen Therapien besonders attraktiv.

[0078] Die Erfindung soll anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden, ohne auf diese Beispiele beschränkt zu sein.

## Ausführungsbeispiele

### Beispiel 1:

Primäre Tupaia-Hepatozyten sind relativ resistent gegenüber den toxischen Effekten von Proteasom-Inhibitoren. Im Vergleich dazu sind proliferierende Zellen, darunter auch Leberkarzinom(Hepatoma)-Zelllinien erheblich sensitiver gegenüber den toxischen Effekten von Proteasom-Inhibitoren.

[0079] Das UPS ist in zahlreiche zelluläre Mechanismen involviert. Dementsprechend kann eine vollständige Inhibition der Proteasom-Aktivität auf längere Zeit nicht mit der Vitalität einer Zelle vereinbart werden. Jedoch zeigen verschiedene Zelltypen unterschiedliche Sensitivität gegenüber der toxischen Wirkung der Inhibitoren. Dabei ist auffällig, dass sich rasch teilende und/oder aktivierte Zellen in der Regel eine höhere Sensitivität gegenüber Proteasom-Inhibitoren besitzen im Vergleich zu ruhenden und/oder nicht aktivierten Kulturen. Darauf beruht die anti-neoplastische Wirkung der Proteasom-Inhibitoren. Um die Toxizität von Proteasom-Inhibitoren auf verschiedene Zelllinien in Kultur (MDBK, BHK-21-Zellen), darunter auch humane transformierte Hepatomazellen (Huh-7) zu testen, wurden Dosis-Limitierungsstudien mit Proteasom-Inhibitoren durchgeführt. Im Vergleich dazu wurden die gleichen Dosis-Limitierungsstudien mit Proteasom-Inhibitoren mit primären Hepatozyten durchgeführt.

[0080] Als Beispiel für primäre Hepatozyten wurden Hepatozyten aus 10–12 Wochen alten Tupaias (*Tupaia-belangeri*) gewonnen, die entsprechend den internationalen Richtlinien zur Versuchstierhaltung gehalten und behandelt wurden. Tupaias wurden aus dem Grund gewählt, weil in einem kürzlich erschienenen Report Tupaia-Hepatozyten als mögliches in vitro-Infektionsmodell für Hepatitis-C-Virus vorgeschlagen wurde (Zhao et al., 2002). Gewinnung und Züchtung der primären Hepatozyten erfolgte entsprechend dem Protokoll von Köck et al. (2001). Die Tupaia-Hepatozyten wurden in einer Dichte von  $2 \times 10^6$  bis  $3 \times 10^6$  Zellen/ml Williams E-Medium (2 ml pro well) auf Kollagen-beschichteten Platten (Becton Dickinson Co., Bedford, Massachusetts, USA) ausgebracht. Parallel-Kulturen wurden mit steigenden Dosen bestimmter Proteasom-Inhibitoren, im folgenden als PI bezeichnet, (jeweils 10 µM, 5 µM, 1 µM, 100 nM, 20 nM, 10 nM und 1 nM) für 30 Stunden behandelt. Etwa alle 12 Stunden wurden die Zellen hinsichtlich Morphologie und Vitalität lichtmikroskopisch untersucht. Zusätzlich wurde deren Funktionalität mittels Fluoreszenzvitalfärbung mit Fluoreszeindiacetat (FDA) (Sigma, Deisenhofen, Deutschland) bestimmt (Yagi et al., 2001). FDA wird aktiv und präferenziell von Hepatozyten aufgenommen und dort mittels einer Lipase, die exklusiv in Hepatozyten exprimiert wird, in Fluoreszein konvertiert und bewirkt die Fluoreszenzfärbung des Zytoplasmas, ein Zeichen für die Funktionsfähigkeit und Vitalität von Hepatozyten. In

diesem Experiment wurden die behandelten und unbehandelten Tupaia-Hepatozyten mit FDA-haltigem Williams E-Medium (5 µg/ml) für 5 Minuten bei 37°C inkubiert. Anschließend wurden die Zellen mit PBS gewaschen und die Vitalität der Hepatozyten mittels eines inversen Epifluoreszenzmikroskops beurteilt. Alle Kulturen, die mit bis zu 1 µM PI behandelt wurden, zeigten weder eine morphologische Veränderung noch Hinweise auf eingeschränkte Vitalität, d.h. sie waren nicht zu unterscheiden von unbehandelten Hepatozyten. Bei Behandlung mit 5 µM PI oder höher wurden in den Nicht-Hepatozyten, die in Kulturen von primären Hepatozyten immer mit vorliegen, deutliche morphologische Veränderungen wie zum Beispiel abgerundete Zellen und intrazelluläre Vakuolenbildung beobachtet. Die Vitalität der Hepatozyten dagegen war nicht verändert gemäß visueller Beurteilung und Fluoreszenzintensität. Erst ab einer Konzentration von 10 µM PI traten erste Zeichen einer toxischen Wirkung auch in Hepatozyten auf. Ähnliche Ergebnisse wurden mit unterschiedlichen PI, wie zum Beispiel Lactacystin und Epoxomicin, beobachtet. Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass primäre Tupaia-Hepatozyten relativ hohe Konzentrationen von bis zu ca. 10 µM Proteasom-Inhibitor tolerieren können.

[0081] Um den Effekt von Proteasom-Inhibitoren auf proliferierende Zellen und vor allem auch proliferierende Hepatoma-Zellen zu testen, wurden verschiedene immortale Zelllinien animalen und humanen Ursprungs kultiviert. In der Regel wurden die Zellen in Dulbeccos' modifiziertem Eagle's Medium (DMEM) (Gibco) kultiviert, das mit folgenden Komponenten angereichert war: 2% (v/v) Aminosäure Stammlösung (0.712 g L-Alanin, 1.2 g L-Asparaginsäure, 2.8 g Glyzin, 1 g Prolin bezogen auf 800 ml Lösung); 0.1 mg/l d-Biotin (Sigma-Aldrich); 25 mg/l Hypoxanthin (Sigma-Aldrich), 3.7 g/l NaHCO<sub>3</sub> (Merck, Darmstadt), 10% (v/v) fötales, hitze-inaktiviertes Kälberserum (Biochrom AG, Berlin); 100 Einheiten/ml Penicillin; 100 µg/ml Streptomycin (Biochrom AG, Berlin). Einerseits wurden BHK-21- und MDBK-Zellen getestet, für die bekannt war, dass sie mit Flaviviren oder Pestiviren infiziert werden können. Als Beispiel für eine Hepatomazelllinie wurden Huh-7-Zellen verwendet; diese Zellen unterstützen als bisher einzige Linie die Replikation von HCV-Replikon-RNAs (Lohmann *et al.*, 1999). Die Zellen wurden bei einer niedrigen Dichte von etwa 0.5 x 10<sup>6</sup> auf einer 6-well Platte ausgesät. Etwa 24 Stunden später wurde das Medium gewechselt und in Parallel-Ansätzen mit unterschiedlichen Konzentrationen verschiedener Proteasom-Inhibitoren versetzt. Die Vitalität der Zellen wurde etwa 30 Stunden später entweder lichtmikroskopisch (Begutachtung der Zellmorphologie) oder über einen Trypanblau-Ausschlusstest überprüft. Bei den drei genannten Zelllinien ließen sich erst bei Konzentrationen von  $\leq 20\text{nM}$  der verschiedenen Proteasom-Inhibitoren keine negativen Effekte auf die Vitalität der Zellen feststellen. Damit wurde deutlich, dass proliferierende Zellen, speziell proliferierende Hepatozyten im Vergleich zu primären Hepatozyten erheblich sensitiver sind gegenüber der toxischen Wirkung von Proteasom-Inhibitoren. In den nachfolgend geschilderten Beispielen wur-

den die verschiedenen Proteasomen-Inhibitoren bei einer Konzentration von 10 nM eingesetzt.

5    Beispiel 2:

Die Behandlung von *Flaviviridae*-infizierten Zellkulturen mit moderaten Konzentrationen von Proteasomen-Inhibitoren reduziert drastisch die Freisetzung und Ausbreitung infektiöser Nachkommenviren.

10 [0082] In einem Kontrollexperiment sollte zunächst getestet werden, welchen Effekt eine Vorbehandlung der Zellen mit Proteasomen-Inhibitoren auf eine Infektion mit verschiedenen *Flaviviridae*-Mitgliedern hat. Dazu wurden nicht-infizierte MDBK-Zellen und BHK-21-Zellen in Parallel-Ansätzen für unterschiedliche Zeiträume in Zellkulturmedium gehalten, das mit verschiedenen PI (Konzentration 10 nM) versetzt wurde. Die Zeitintervalle dieser Behandlung reichten dabei von 1-8 Stunden. Anschließend wurden die Zellen mit PBS gewaschen und nachfolgend mit einem geringen Volumen an Pestivirus (BVDV CP7) oder Flavivirus (West-Nil-Virus)-haltigem Kulturmedium bei einer MOI von 1-5 versetzt (MOI=multiplicity of infection=Anzahl der pro Zelle eingesetzten infektösen Viruspartikel; diese war zuvor durch Virustitration ermittelt worden). Nach einer Infektionsphase von etwa 20 einer Stunde bei 37°C wurde überschüssiges und/oder nicht infektiöses Virus durch einen Waschschnitt mit PBS entfernt und die infizierten Zellen mit frischem Kulturmedium weiter gezüchtet. Nach einem Replikationszyklus, d.h. etwa 12 Stunden (West-Nil-Flavivirus) bzw. 30 Stunden (BVDV) wurde der virushaltige Kulturüberstand der Zellen abgenommen. Da es sich bei BVDV CP7 und West-Nil-Virus um zytopathische (zp) Viren handelt, ließ sich zu 25 diesen Zeitpunkten in der Regel ein zytopathischer Effekt der Virusinfektion (ZPE) bei den infizierten Zellen feststellen. Der ZPE kann lichtmikroskopisch durch das Abrunden, Schrumpfen und Ablösen infizierter Zellen von der Kulturplatte festgestellt werden. Darüber hinaus wurde in parallel durchgeführten Immunofluoreszenztests mit spezifischen Antikörpern gegen virale Proteine (gemessen wurde dabei ausschließlich die replikationsabhängige 30 Synthese dieser Proteine) gezeigt, dass zu diesen Zeitpunkten in praktisch allen Zellen virale Replikation festgestellt werden kann (Standardprotokoll; siehe auch Behrens *et al.*, 1998). Die Anzahl der im Kulturmedium enthaltenen infektösen Viruspartikel wurde über eine Endpunkt-Titration (Standardprotokoll) auf nicht-infizierten BHK (West-Nil-Flavivirus) bzw. MDBK- (BVDV)-Zellen festgestellt. Aufgrund des zytopathischen Charakters beider Viren 35 ließ sich der Titer durch die Formation von Plaques im Zellrasen mikroskopisch oder über Immunfärbeverfahren eines der viralen Proteine (Standardprotokolle) ermitteln. Zur Bestimmung der im Zellkulturüberstand insgesamt enthaltenen relativen Anzahl an Virusgenomen

wurde ein definiertes Volumen des Zellkultur-Überstandes auf eine Endkonzentration von 0.5% (m/v) SDS (Sodium Dodecylsulfat), 150 mM NaCl und 50 mM Tris/Cl pH 7.5 gebracht und die enthaltenen Proteine durch Zugabe von 20 $\mu$ g/ml des Enzyms Proteinase K (PK) hydrolysiert. Die verbliebenen Nukleinsäuren wurden durch eine Phenol- und eine nachfolgende Chloroform-Extraktion gereinigt und durch Ethanol präzipitiert (Standard-Protokolle). Die in dem Zell-Überstand enthaltene virale RNA wurde durch ein von Behrens *et al.* (1998) und Grassmann *et al.* (1999) entwickeltes spezielles RNase-Protektionsverfahren quantifiziert. Das generelle Prinzip dieser Detektionsmethode beruht auf dem Einsatz kurzer durch Transkription *in vitro* (Standardprotokoll) hergestellter [ $^{32}$ P]-markierter RNA-Moleküle ("Probes"), die eine zu den viralen RNA-Molekülen komplementäre ("anti-sense") Orientierung aufweisen. Nach Hybridisierung der Proben an die virale RNA werden durch Umsetzung mit den einzelstrang-spezifischen Ribonukleasen A und T1 nicht gepaarte Bereiche der RNA verdaut und die Anzahl der doppelsträngigen ("RNase-protegierten") viralen RNA-Moleküle über die Messung der gleichfalls protegierten, markierten Probe-Moleküle quantifiziert (Grassmann *et al.*, 1999). Durch Bildung des Verhältnisses der insgesamt in einem bestimmten Volumen Zellüberstand enthaltenen Virusgenome und der durch Titration ermittelten Anzahl der infektiösen Nachkommenviren wurde die spezifische Infektiosität der neu assemblierten Nachkommenviren ermittelt. In Fig. 1 ist gezeigt, dass eine Vorbehandlung der Wirtszellen mit verschiedenen PI einen verhältnismäßig geringen Effekt auf eine nachfolgende Virusinfektion hat: Sowohl der Titer als auch die spezifische Infektiosität von Nachkommenviren sind bei einer Flavivirus und Pestivirus-Infektion, die nachfolgend auf eine Behandlung der entsprechenden Wirtszellen mit Proteasom-Inhibitoren durchgeführt wurde, im Vergleich zu einer Kontrolle mit Mock-behandelten Zellen geringfügig oder nicht verändert.

[0083] In einem weiteren Kontrollexperiment wurde überprüft, ob eine direkte Behandlung von *Flaviviridae*-Viruspartikeln mit Proteasom-Inhibitoren einen Einfluss auf die Infektiosität der Viren hat. Dazu wurden Kulturmedium-Überstände infizierter Zellen, die eine definierte Anzahl an West-Nil-Flavivirus bzw. BVDV-Viruspartikeln enthielten (diese wurde zuvor durch Virustitration ermittelt), mit verschiedenen PI (Konzentration wie in den oben beschriebenen Experimenten 10nM) versetzt und für 24 Stunden bei 37°C inkubiert. Es wurde festgestellt (Fig. 2), dass durch die Behandlung des Virusüberstandes mit Proteasom-Inhibitoren die Anzahl an infektiösen Einheiten im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrolle nicht wesentlich reduziert wurde.

[0084] Damit kann folgendes festgestellt werden. 1. Die Behandlung von Viruspartikeln verschiedener Vertreter der *Flaviviridae* mit Proteasomen-Inhibitoren hat keinen oder nur einen geringen Einfluss auf die Infektiosität dieser Virus-Partikel. 2. Die Vorbehandlung der Zellen für maximal 8 Stunden mit Proteasomen-Inhibitoren hat keinen Einfluss auf eine sich der Behandlung anschließende Infektion der Zellen durch *Flaviviridae*; d.h., die für die Virusinfek-

tion wichtigen zellulären Strukturen an der Zellmembran werden durch die Proteasom-Inhibitoren nicht oder kaum beeinflusst.

[0085] Um den Einfluss von Proteasomen-Inhibitoren auf die sich dem unmittelbaren Infektionsvorgang anschließenden Ereignisse einer *Flaviviridae*-Infektion wie Virus-Entry/Internalisierung, Uncoating, RNA-Replikation sowie Assembly und Sekretion sowie Infektiosität von Nachkommenviren (siehe Einleitung) zu untersuchen, wurden BHK- und MDBK-Zellen mit dem West-Nil-Flavivirus bzw. mit dem BVDV in einer Reihe von Parallel-Ansätzen in der oben genannten Weise infiziert. Nach dem Waschen der infizierten Zellen mit PBS wurden diese in frischem Medium aufgenommen, das mit 10 nM verschiedener PI versetzt wurde. Nach 12 (West-Nil-Flavivirus) bzw. 30 Stunden Inkubationszeit bei 37°C wurde der Kulturerstand in der beschriebenen Weise gewonnen. Die Zellen wurden im Anschluss an den genannten Infektionszeitraum mit einem Rubber-Policeman von der Kulturplatte abgekratzt, in PBS gewaschen und für die weitere Verwendung auf Eis gehalten oder eingefroren. Die Anzahl neu assemblierter Nachkommenviren bzw. deren spezifische Infektiosität wurde über Virustitration und das genannte RNase-Protektionsverfahren aus dem Kulturerstand ermittelt. Zur Messung der intrazellulären Replikation wurde die virale RNA aus den infizierten Zellen gewonnen. Dazu wurden die Zellen in einem Lysepuffer (50 mM Tris/Cl pH 8, 100 mM NaCl, 5 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.5% v/v NP40) für 10 Minuten auf Eis aufgeschlossen, die Zellkerne über eine Zentrifugation bei 1000 g abgetrennt und die virale RNA aus dem Zytoplasma durch PK-Verdau, Phenol- und Chloroformextraktion sowie Ethanol-Präzipitation gewonnen. Die Anzahl der in den Zellen enthaltenen viralen RNA-Replikationsprodukte (Minus-Strang RNA Intermediat und neu synthetisierte Plus-Strang RNA) wurde durch RNase-Protektion quantifiziert. Um die bei verschiedenen Infektionsexperimenten auftretende Variation der Zellzahl auszugleichen, wurde folgendermaßen verfahren: Durch Messung der optischen Dichte (OD<sub>260</sub>; Standard-Protokoll) wurde die Gesamtmenge der extrahierten zytoplasmatischen RNA bestimmt (in früheren Arbeiten konnte gezeigt werden, dass auch bei effizient replizierenden Viren nur ein Bruchteil der Gesamt-ZytoplasmRNA virale RNA ist) und eine definierte Quantität dieser RNA in den RNase-Protektionsexperimenten eingesetzt. In Fig. 3-5 ist gezeigt, dass sowohl die RNA-Replikationsrate als auch die Anzahl an freigesetzten Nachkommenviren infolge der Behandlung der Zellen mit PI nach der Infektion signifikant herabgesetzt war. Dabei konnten allerdings deutliche Unterschiede zwischen den PI beobachtet werden: So war der Effekt von Lactacystin gering, während eine Behandlung mit Epoxomycin oder einem Proteasominhibitor Pi maximale Wirkung zeigte, d.h. eine Reduktion der RNA-Replikationsrate um ca. einen Faktor von 5-10 und Reduktion der Anzahl freigesetzter Nachkommenviren um mehrere Log-Stufen. Es konnte auch eine deutliche Reduktion der spezifischen Infektiosität, d.h. des Verhältnisses

der Anzahl der im Überstand detektierbaren RNA-Genome zu der Anzahl der im Titrations-  
onstest ermittelten infektiösen Einheiten (um etwa einen Faktor 50-100) ermittelt werden.

- [0086] Um zu testen, ob die festgestellte geringere Infektiosität der Nachkommenviren durch  
5 eine verminderte Adhäsionsfähigkeit der Viruspartikel an die Zielzelle bedingt ist, wurde fol-  
gendes Experiment durchgeführt: BHK- und MDBK-Zellen wurden in parallelen Ansätzen  
mit West-Nil-Flavivirus- bzw. BVDV-haltigen Überständen versetzt, die aus PI-behandelten  
bzw. nicht-behandelten Infektionsexperimenten gewonnen worden waren. Wichtig war in die-  
sem Zusammenhang, dass eine jeweils identische MOI bei der Infektion eingesetzt wurde.  
10 Nach einer Inkubationsphase bei 4°C für eine Stunde wurde ein Teil der Zellen für eine Stun-  
de auf 37°C gebracht, der andere Teil der Zellen wurde sofort weiter aufgearbeitet. Die Zellen  
wurden durch Abkratzen von der Platte gewonnen, und aus den jeweiligen Ansätzen wurde  
anschließend die Gesamt-RNA durch PK-Verdau und Phenol- und Chloroform-Extraktion  
gewonnen. Das Verhältnis der bei 4°C an die Zellen adhärierten und bei 37°C verbliebenen/  
15 internalisierten viralen RNA-Genome wurde anschließend über eine RNase-Protektion quanti-  
fiziert. Dabei wurde deutlich, dass die Viruspartikel, die als Nachkommenviren aus Protea-  
som-Inhibitor behandelten Zellen sekretiert wurden, erheblich weniger infektiös sind als Vi-  
ren, die aus unbehandelten Zellen gewonnen wurden.  
  
20 [0087] Konsequenterweise ließ sich in Zellkulturen von mit Flavi-, und Pestiviren infizierten  
Zelllinien in Gegenwart von Proteasomen-Inhibitoren eine deutliche Verminderung der Infek-  
tionsausbreitung feststellen. Letztere Tatsache ließ sich durch Immunfluoreszenztests beson-  
ders eindrucksvoll belegen: Während bei einer Infektion unter Mock-Behandlung typische  
Plaqueformationen der infizierten Zellen unter dem Mikroskop ausgemacht werden – dies ist  
25 eine Folge der horizontalen Ausbreitung der Virusinfektion - war dies unter PI-Behandlung  
nicht der Fall (Fig. 5).  
  
[0088] Zusammengefasst verdeutlichen diese Experimente, dass die Behandlung infizierter  
Zellen mit Proteasom-Inhibitoren zu einer Blockierung/Reduktion der Replikationsrate der  
30 viralen RNA in infizierten Zellen, zu einer Blockierung/Reduktion der Freisetzung von neuen  
Virionen und zu einer Blockierung/Reduktion der Infektiosität von freigesetzten Nachkom-  
menviren führen. Als Konsequenz wird die Infektionsausbreitung der Viren vermindert. Die  
Beobachtung, dass Proteasom-Inhibitoren den Lebenszyklus sowohl von Flaviviren als auch  
35 Pestiviren maßgeblich inhibieren, erlaubt den Rückschluss, dass diese Mittel in ähnlicher  
Weise auch auf die Infektion und auf die Infektionsausbreitung anderer Mitglieder der *Flavi-*  
*viridae*-Familie wie Hepatitis-C-Viren und GB-Viren wirken, für die bisher keine infektiösen  
Zellkultursysteme etabliert werden konnten.

Beispiel 3:

Proteasomen-Inhibitoren haben nur geringe Effekte auf die intrazelluläre Replikation von BVDV- und HCV-RNA.

5

[0089] Zur eingehenderen Untersuchung des Effektes von Proteasom-Inhibitoren auf die intrazelluläre Replikation des viralen RNA-Genoms wurde auf Zelllinien zurückgegriffen, die ein persistentes BVDV-RNA-Replikon oder ein persistentes HCV-RNA-Replikon enthalten (Fig. 7 und 8). Für die Herstellung dieser Zelllinien (MDBK für BVDV, Huh-7 für HCV) wurden bizistronische RNA-Replikonkonstrukte verwendet, die neben dem für die viralen Proteine kodierenden ORF noch ein weiteres Gen enthalten, das für einen Selektionsmarker kodiert, also zum Beispiel das Gen für Hygromycin-B-Phosphotransferase. Hygromycin-B-Phosphotransferase inaktiviert das Antibiotikum Hygromycin B, einen Inhibitor der zellulären Translation. In den bizistronischen Konstrukten wird das heterologe Gen über die IRES der viralen 5'-UTR translatiert; die Expression der viralen Gene erfolgt über eine zusätzlich eingegebogene IRES-Sequenz des Enzephalomyocarditis-Virus (EMCV). Im Falle von BVDV wurde für die Herstellung einer persistent transfizierten MDBK-Zelllinie naturgemäß ein nichtzytopathisches (nzp), NS2-3-kodierendes Replikon verwendet (siehe Einleitung und Fig. 7 und 8). Im Falle von HCV wurde eine NS3-exprimierende RNA zur Herstellung persistent transfizierter Huh-7-Zelllinien verwendet; diese induziert keinen ZPE (Lohmann *et al.*, 1999). Nach Transfektion der durch *in vitro*-Transkription gewonnenen RNAs (Standardprotokolle) wurden die Zellen unter selektionierenden Bedingungen, das heißt in der Gegenwart von 500 µg/ml Hygromycin, über mehrere Wochen gezüchtet. Da unter diesen Bedingungen nur Zellen überleben, die eine effiziente Hygromycin-Resistenz aufweisen, wurden so homogene Zelllinien selektioniert, die das entsprechende "Hyg-bici"-BVDV- oder "Hyg-bici"-HCV-Replikon persistent enthalten. Der Vorteil dieses Replikon-Zellsystems besteht vor allem darin, dass Effekte auf die RNA-Replikation unabhängig von Virus-Entry/Internalisierung, Uncoating bzw. der Assemblierung und Sekretion von Nachkommenviren untersucht werden können. Die Hyg-bici-BVDV oder Hyg-bici-HCV-Replikon-Zelllinien wurden für 24 bis 30 Stunden mit verschiedenen PI behandelt (siehe unten). Die Auswirkungen der Proteasom-Inhibitoren auf die intrazelluläre Replikation der viralen RNAs wurde wiederum durch Messung der Replikationsprodukte der viralen RNAs durch quantitative RNase-Protektion bestimmt. Alternativ wurde der Effekt der Behandlung mit Proteasom-Inhibitoren auf die virale RNA-Replikation wie in Beispiel 2 beschrieben über Immunofluoreszenz-Tests oder durch Immunoblot-Verfahren (Standardprotokolle) verfolgt. Es wurde festgestellt, dass verschiedene PI keinen oder einen nur geringen Einfluss auf die intrazelluläre RNA-Replikation von BVDV- und HCV-RNA haben: In Fig. 7 und 8 ist gezeigt, dass die Replikationsrate der Hyg-

bici-BVDV- oder Hyg-bici-HCV-Replikon-RNAs bei Behandlung mit Proteasom-Inhibitoren nur geringfügig (d.h. um max 10%) sinkt.

[0090] Diese Ergebnisse zeigen, dass die Inhibition des zellulären Proteasoms keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss auf die Translation der viralen RNA, auf die Prozessierung des viralen Nicht-Struktur Polyproteins und auf die Katalyse der beiden Replikationsschritte der viralen RNA hat. Aufgrund der Diskrepanz zu den Ergebnissen mit infizierten Zellen – wie in Beispiel 2 beschrieben, ließ sich in diesen Fällen ein klarer Effekt von PI auf die RNA-Replikation feststellen – konnte geschlossen werden, dass Proteasom-Inhibitoren offenbar Vorgänge wie Virus-Entry/Internalisierung und/oder -Uncoating inhibieren, die der RNA-Replikation vorangehen.

Beispiel 4:

Die Behandlung von *Flaviviridae*-infizierten Zellen mit Proteasom-Inhibitoren führt zu Unterschieden in der Anzahl der in infizierten Zellen detektierbaren Viruspartikel, zu Veränderungen des Verhältnisses kompletter zu nicht-kompletter Virionen sowie zu Veränderungen in der Morphologie sekretierter Nachkommenviren.

[0091] In den vorangegangenen Experimenten (Beispiel 2) wurde festgestellt, dass eine Inhibition der zellulären Proteasom-Aktivität die Freisetzung von infektiösen Nachkommenviren drastisch reduziert. Die gleichzeitige Feststellung, dass Proteasom-Inhibitoren weder direkt auf die Viruspartikel noch auf die Zellmembran wirken (Beispiel 1) und auch die RNA-Replikation nicht beeinflussen (Beispiel 3), führte zu der Hypothese, dass entweder der Entry-/Internalisierungsvorgang bzw. das Uncoating oder aber die Assemblierung und die Sekretion von Nachkommenviren von der Inhibition des zellulären Proteasoms betroffen sein müssen. Zur Prüfung dieser Hypothese wurden MDBK-Zellen mit BVDV infiziert und in Gegenwart oder Abwesenheit von 10 µM MG132 in speziellen Kapillaren mit einem Durchmesser von 200 µm für weitere 30 Stunden gezüchtet. Anschließend wurden die Zellen chemisch fixiert und für TEM prozessiert. Analog wurde mit Virusüberständen von mit Proteasom-Inhibitor behandelten infizierten Monolayerkulturen bzw. Mock-behandelten Kontrollen verfahren: Die entsprechenden Virus-haltigen Zellkultur-Überstände wurden in die Kapillaren transferiert, verschlossen, chemisch fixiert und für TEM präpariert. Bei der elektronenmikroskopischen Analyse wurde deutlich, dass sich in infizierten Zellen nach einer Behandlung mit PI eine signifikant geringere Anzahl an Viruspartikeln in zellulären Vesikeln im Vergleich zur Mock-Kontrolle detektieren lässt (Fig. 9). Zudem war in PI-behandelten Zellen das Verhältnis von komplett assemblierten zu nicht-komplett assemblierten Virionen stark zu ungünstigen der komplett assemblierten Viruspartikel verschoben. Beim Vergleich der aus PI und Mock-behandelten Zellen gewonnenen virus-haltigen Überstände wurde deutlich, dass die Morpho-

logie der unter PI-Behandlung sekretierten Viren im Vergleich zu Wild-Typ Viren deutlich verändert ist (Fig. 9). Diese Befunde stützen die Vorstellung, dass der inhibierende Effekt von Proteasom-Inhibitoren auf eine Infektion mit *Flaviviridae* den Assemblierungs und/oder den Sekretionsprozess der Nachkommenviren betrifft.

5

Beispiel 5: Behandlung von Flaviviridae-infizierten Zellkulturen mit unterschiedlichen Klassen von Proteasom-Inhibitoren reduziert drastisch die Produktion von Nachkommenviren.

[0092] Parallelkulturen von MDBK-Zellen wurden wie in dem vorigen Beispiel beschrieben mit gleichen MOI des Pestivirus BVDV (CP7, NADL) infiziert. 3 Stunden nach Infektion

10 wurden die Zellen geerntet, in PBS gewaschen und für weitere 12 Stunden kultiviert. Durch diesen ersten Waschschritt wurde das Input-Virus komplett aus der Kultur entfernt, und es können daher nur neu produzierte Nachkommenviren nachgewiesen werden. Nach weiteren 12 Stunden Behandlung wurden die Zellen ebenfalls geerntet, gewaschen, in gleichen Zellmengen aliquotiert und mit verschiedenen Proteasom-Inhibitoren für 24 oder 48 Stunden behandelt. Nach dieser Behandlungszeit wurden die Viren durch Zentrifugation aus identischen

15 Volumen von Zellkulturüberständen durch Zentrifugation (99 min, 20.000xg, 4°C) gewonnen.

Der jeweilige Zeitablauf für Infektion, Behandlung und Virusernte ist in Figur 10 dargestellt. Die pelletierten Virionen wurden in SDS-Probenpuffer denaturiert und im Western-Blot mit anti-BVDV-core-Antikörpern analysiert. In Figur 10, Teil A wurden die Western-BLOTS mit

20 Antikörpern angefärbt, welche das reife und prozessierte BVDV-core erkennen; in Figur 10, Teil B mit Antikörpern, welche auch das unreife nicht prozessierte core-Protein erkennen. Dabei ist deutlich zu sehen, dass eine klare Abnahme der Menge an BVDV-core-Protein auftritt, welche von der Dosis der Proteasom-Inhibitoren abhängt. Der Effekt von 100 nM Epoxomicin war etwa vergleichbar mit dem inhibitorischen Effekt von 200nM des Peptidaldehyds MG132. Die Hemmung der Produktion von BVDV wurde weiterhin verstärkt wenn die

25 Behandlungsdauer auf 48 Stunden verlängert wurde (Figur 10, Teil B). Hierzu wurden Zellen mit den Proteasom-Inhibitoren Epoxomicin, MG132 sowie mit dem beta-Lacton Lactacystin behandelt (Figur 10, Teil B). Dabei zeigte sich eine Dosis-abhängige Verringerung des core-Signals, welches sowohl die reife als auch die unreife Form des BVDV-core-Proteins betraf.

30 Gemessen am core-Signal ist nach 48 Stunden Behandlung mit 150 nM von MG132 oder Lactacystein eine Abnahme der Menge von BVDV Virus auf 10 Prozent zu verzeichnen (Figur 10, Teil B). In Übereinstimmung mit den vorherigen Beispielen wird mit diesem Beispiel weiterführend gezeigt, dass chemisch unterschiedliche Klassen von Proteasom-Inhibitoren die Produktion von BVDV-Virionen blockieren. Dies konnte anhand der biochemischen Analyse

35 von pelletierten Virionen direkt nachgewiesen werden. Da dieser Effekt für Proteasom-Inhibitoren der Klasse von Peptidealdehyden (MG132), Epoxyketonen (Epoxymicin), Peptid-vinylsulfonen (NLVS, Daten nicht gezeigt), und Lactonen (LC) nachgewiesen wurde, kann

somit davon ausgegangen werden, dass das 26S Proteasom für die Produktion von BVDV und damit anderen Vertretern der *Flaviviridae* notwendig ist, beziehungsweise Proteasom-Inhibitoren die Replikation von *Flaviviridae* blockieren können.

5

### Legende zu den Figuren

#### Figur 1: Effekt von PI auf eine *Flaviviridae*-Infektion

Teil 1: Effekt einer Vorbehandlung von Zellen mit PI auf eine anschließende Infektion mit *Flaviviridae*.

[0093] BHK-21- bzw. MDBK-Zellen wurden für 20 Stunden bei einer Konzentration von 10nM Epoxomycin (E), Lactacystin (L) bzw. dem Proteasom-Inhibitor (Pi) MG132 im Kulturmedium kultiviert. Nach Waschen der Zellen mit PBS wurden diese mit West-Nil-Virus (BHK-21-Zellen) bzw. BVDV CP7 (MDBK-Zellen) bei einer MOI von 1-5 infiziert. 12 bzw. 15 30 Stunden nach der Infektion wurden der Titer und die spezifische Infektiosität der im Zellkultur-Überstand befindlichen Nachkommenviren (Protokolle siehe Anwendungsbeispiel 2) ermittelt.

[0094] Angegeben ist der Titer infektiöser West-Nil-Virus und BVDV-Nachkommenviren, die nach Infektion von PI-vorbehandelten im Vergleich zu Mock-vorbehandelten MDBK- bzw. BHK-Zellen freigesetzt wurden (Angaben als Verhältnis PI-vorbehandelt/Mock-vorbehandelt in %; Mock-vorbehandelt = 100%).

[0095] Angegeben ist weiterhin die spezifische Infektiosität der Nachkommenviren (Angaben wiederum als Verhältnis PI-vorbehandelt/Mock-vorbehandelt in %; Mock-vorbehandelt = 100%). Die Darstellung entspricht Mittelwerten aus drei unabhängigen Experimenten (Standardabweichung ca. 10%).

#### Fig. 2: Effekt von PI auf eine *Flaviviridae*-Infektion

Teil 2: Konsequenzen einer Vorbehandlung von West-Nil-Viren und BVDV-CP7-Viren mit PI auf deren Infektiosität.

[0096] 30 West-Nil-Virus-haltige bzw. BVDV-haltige Kulturüberstände wurden von infizierten Zellen gewonnen und der Virustiter bestimmt (Protokolle siehe Anwendungsbeispiel 2). 1ml der Überstände wurden je auf eine Konzentration von 10 nM verschiedener PI (Epoxomycin, Lactacystin, MG132) eingestellt. Die mit PI versetzten Überstände und eine entsprechende Mock-Kontrolle wurden für 30 Stunden bei 37° (Zellkulturbedingungen) inkubiert und anschließend zur Infektion von BHK-Zellen (West-Nil-Virus) und MDBK-Zellen (BVDV) eingesetzt. Der Titer und die spezifische Infektiosität der resultierenden Nachkommenviren wurden mit den unter Anwendungsbeispiel 2 beschriebenen Protokollen ermittelt.

[0097] Angegeben ist der Titer infektiöser BVDV- und West-Nil-Virus-Nachkommenviren, freigesetzt aus MDBK- bzw. BHK-Zellen, die zuvor entweder mit PI-behandelten oder Mock-behandelten Virus-Überständen infiziert wurden (Angaben als Verhältnis PI-vorbehandelt/Mock-vorbehandelt in %; Mock-vorbehandelt = 100%). Angegeben ist weiterhin die spezifische Infektiosität der Nachkommenviren (Angaben wiederum als Verhältnis PI-vorbehandelt/Mock-vorbehandelt in %; Mock-vorbehandelt = 100%). Die Darstellung entspricht Mittelwerten aus drei unabhängigen Experimenten (Standardabweichung ca. 10%).

**Fig. 3-5:** Effekt von PI auf eine *Flaviviridae*-Infektion

10 Teil 3: Effekt einer PI-Behandlung auf bereits infizierte Zellen.

[0098] BHK-21- und MDBK-Zellen wurden mit BVDV bzw. West-Nil-Virus infiziert (Protokolle siehe Anwendungsbeispiel 2) und das Kulturmedium direkt im Anschluss an die Infektion auf 10nM verschiedener PI (Epoxomycin (E), Lactacystin (L), MG132 (Pi)) eingestellt. Nach Einstellung eines ZPE, i.d.R. 12 Stunden (West-Nil-Virus) bzw. 30 Stunden (BVDV) nach der Infektion, wurde der Titer und die spezifische Infektiosität der freigesetzten Nachkommenviren ermittelt. Darüber hinaus wurde die Replikationsrate der viralen RNAs in den infizierten Zellen bestimmt (Protokolle erläutert in Anwendungsbeispiel 2).

[0099] Titer infektiöser West-Nil- und BVDV-Nachkommenviren, freigesetzt aus BHK- bzw. MDBK-Zellen, die nach der Infektion mit der angegebenen Konzentration und für die angegebenen Zeiten mit verschiedenen Proteasom-Inhibitoren (siehe Fig. 1 2 und 2 3) behandelt wurden. Angegeben sind die Mittelwerte aus drei unabhängigen Virus-Titrationen mit jeweils unabhängigen Mock-Kontrollen (Standardabweichung ca. 20%).

[0100] Spezifische Infektiosität der Nachkommenviren im Verhältnis zu den mock-behandelten Kontrollen angegeben als Verhältnis PI-behandelt/Mock-behandelt in % (Mock-behandelt = 100%). Angegeben sind die Mittelwerte aus drei unabhängigen Experimenten (Standardabweichung ca. 20%).

[0100] Replikationsrate der Viren, ermittelt über RNase-Protektion der neu synthetisierten Positiv-Strang-RNA (Grassmann *et al.*, 1999) angegeben als Verhältnis PI-behandelt/Mock-behandelt in % (Mock-behandelt = 100%). Angegeben sind die Mittelwerte aus drei unabhängigen Experimenten (Standardabweichung ca. 10%).

**Fig. 6:** Effekt einer PI-Behandlung *Flaviviridae*-infizierter Zellen auf die Ausbreitung der Infektion in Zellkultur.

[0101] MDBK-Zellen wurden entsprechend den im Detail in Ausführungsbeispiel 2 erläuterten Protokollen mit BVDV CP7 infiziert und mit dem Proteasom-Inhibitor Pi behandelt. 30 Stunden nach der Infektion wurden die Proteasom-Inhibitor-behandelten Zellen und, zum Vergleich, unbehandelte und sonst unter identischen Bedingungen infizierte Zellen einem

Immunfluoreszenztest mit anti-BVDV-NS3-Antikörper unterzogen (Behrens *et al.*, 1998). Gezeigt sind die durch Immunfluoreszenz des viralen NS3-Proteins sichtbar gemachten Zellen (100-fach mikroskopisch vergrößert) in a) Abwesenheit des Proteasom-Inhibitors und b) nach Behandlung mit 10 nM Proteasom-Inhibitor MG132 (Pi).

5

**Fig. 7 und 8:** Effekt einer PI-Behandlung auf die Replikationsfähigkeit von BVDV- und HCV-Replikon-RNA

[0102] Organisation bizistrone BVDV- und HCV-RNA-Replikons im Vergleich zur Organisation des BVDV- und HCV-Gesamtgenoms. Waagerechte Linien kennzeichnen die nicht-translatierten Regionen (UTRs); Boxen symbolisieren die translatierten Bereiche der viralen RNAs. Die Art der proteolytischen Aktivität, die an den gekennzeichneten Stellen des Polyproteins zur Spaltung führt, ist durch ein entsprechendes Symbol unter der Spaltstelle angegeben. „Het. Gen“ symbolisiert das in den bi-zistronischen RNAs exprimierte zusätzliche Gen (z.B. Hygromycin-B-Phosphattransferase). Aus Gründen der Prozessierung des N-Terminus von NS2-3 enthält das nzp BVDV-Replikon noch einen Teil des p7-kodierenden Bereiches. Ein Teilbereich des N<sup>pro</sup>-Gens (N-terminale Autoprotease von BVDV) und ein Teilbereich des Capsid-Gens (bei HCV) dient der besseren Effizienz der IRES-mediierten Translation des Polyproteins. Zur Generierung des authentischen N-Terminus der Proteine wurde z.T. ein Ubiquitingen („Ubi“) eingefügt: Auf diese Weise erfolgt die proteolytische Prozessierung des Polyproteins an dieser Stelle über die zelluläre Ubiquitin carboxy-terminale Hydrolase (Behrens *et al.*, 1998; für Review, siehe Lindenbach and Rice, 2001; weitere Erläuterungen im Text).

[0103] Homogene MDBK- bzw. Huh-7-Zelllinien, die das BVDV- bzw. HCV-Replikon persistent enthielten, wurden über mindestens 30 Stunden mit den verschiedenen Proteasom-Inhibitoren Epoxymycin (E), Lactacystin (L) und dem Proteasom-Inhibitor MG132 (Pi) (behandelt. Im Anschluss daran wurden die Zellen von der Kulturplatte gelöst und die zyttoplasmatische RNA über die in den Anwendungsbeispielen 2 und 3 beschriebenen Verfahren extrahiert. Der Nachweis und die Quantifizierung neu synthetisierter viraler Positiv-Strang-RNA erfolgte durch RNase-Protektion. In der Abbildung wird die Quantität der aus PI-behandelten Zellen extrahierten viralen RNA mit der aus Mock-behandelten Zellen extrahierten viralen RNA verglichen: Angegeben ist das Verhältnis der aus PI-behandelten Zellen gewonnenen Quantität an viraler RNA zu der aus Mock-behandelten Zellen gewonnenen Quantität an viraler RNA in % (Mock-behandelte RNA = 100%). Angegeben sind die Mittelwerte aus drei unabhängigen Experimenten (Standardabweichung ca. 10%). Immunofluoreszenztests ergaben konforme Ergebnisse (nicht gezeigt).

**Fig. 9:** Elektronenmikroskopische Studien PI-behandelter und Mock-behandelter MDBK-Zellen nach Infektion mit BVDV

[0104] MDBK-Zellen wurden entsprechend dem unter Anwendungsbeispiel 4 erläuterten Protokoll mit BVDV CP7 infiziert und elektronenmikroskopisch analysiert.

5

**Fig. 10:**

[0105] Unterschiedliche Klassen von PI blockieren die Produktion von BVDV CP7.

[0106] MDBK-Zellen wurden entsprechend den vorherigen Anwendungsbeispielen mit BVDV (CP7, NADL) infiziert. Zur vollständigen Entfernung des Inputvirus wurden die Zellen gewaschen und anschließend für 12 Stunden weiter behandelt, um eine vollständige Etablierung der Infektion zu ermöglichen. Nach erneuter Waschung wurden die Zellen für 24 oder 48 Stunden mit unterschiedlichen Konzentrationen der Proteasom-Inhibitoren MG132, Epoxyomycin, oder Lactacystin (LC) behandelt. Die freigesetzten Viren wurden geerntet und im Western-blot mit anti-BVDV-core-Antikörpern analysiert, welche entweder nur reifes (A) oder auch nicht prozessiertes core-(B)-Protein erkennen.

### Abkürzungsverzeichnis

20	ATP	Adenosin-5'-triphosphat
	BHK	Baby Hamster Kidney
	BVDV	Virus der bovinen viralen Diarrhoe
	cDNA	copy DNA
	CFTR	Cystis Fibrosis Transmembran Regulator
25	CSFV	Virus der klassischen Schweinepest
	Da	Dalton (Maß für Molekulargewicht)
	DHBV	Enten-Hepatitis-B-Virus
	DNA	desoxyribonucleic acid (Desoxyribonukleinsäure)
	DTT	Dithiothreitol
30	EDTA	Ethyldiamintetraessigsäure
	EM	Elektronenmikroskopie
	EMCV	Enzephalomyocarditis-Virus
	FDA	Fluoresceindiazetat
	FSME	Frühsommer-Meningoenzephalitis
35	GB-Viren	Hepatitis-GB-Viren
	HAART	highly active antiretroviral therapy
	HAART-Therapie	hoch aktive antiretrovirale Therapie

	HAV	Hepatitis-A-Virus
	HBV	Hepatitis-B-Virus
	HCC	Hepatozelluläres Karzinom
	HCV	Hepatitis-C-Virus
5	HDV	Hepatitis-Delta-Virus
	HEPES	N-[2-hydroxyethyl]piperazine-N'-(2-ethanesulfonic acid)
	HEV	Hepatitis-E-Virus
	HFV	Hepatitis-F-Virus
	HGV	Hepatitis-G-Virus
10	HIV	Humanes Immundefizienzvirus
	HPV	Humanes Papilloma-Virus
	Huh-7	humane transformierte Hepatomazellen
	i.d.R.	in der Regel
	IFN	Interferon
15	IL	Interleukin
	IRES	interne Ribosomen-Eintrittsstelle
	kb	Kilobasen
	IκB	inhibitorischer Faktor IκB
	kDa	Kilodalton (Maß für Molekulargewicht)
20	Ki	inhibitorische Konstante
	LC	Lactacystin
	LDL	Low density lipoprotein
	MDa	Megadalton
	MDBK	Marbin Darby Bovine Kinney
25	MHC	Major Histocompatibilitäts Komplex
	μM	micromolar
	MG132	Proteasom-Inhibitor "MG132"
	mM	millimolar
	MOI	multiplicity of infection = Anzahl der pro Zelle eingesetzten
30		infektösen Viruspartikel
	NF-κB	Transkriptionsfaktor
	NLVs	4-Hydroxy-5-ido-3-nitrophenylactetyl-L-Leucinyl-L-Leucinyl-L-Leucin-vinyl-sulfon
	nM	nanomolar
35	nzp	nicht zytopathisch
	ORF	open reading frame (translationales Leseraster)
	PBS	Phosphatpuffer, phosphate buffered saline

	PCR	polymerase chain reaction - Polymerase-Kettenreaktion
	PGPH	Postglutamyl-Peptid hydrolysierende
	PNGase	Peptid N-Glykosidase
	PI	Proteasom-Inhibitor(en)
5	PK	Proteinase K
	PS	ProScript
	PS-341	N-Pyrazinecarbonyl-L-Phenylalanin-L-leuzin-Borsäure
	PS-519	1 <i>R</i> -[1 <i>S</i> , 4 <i>R</i> , 5 <i>S</i> ]-1-(1-Hydroxy-2-methylpropyl)-4-propyl-6-oxa-2-azabicyclo[3.2.0]heptane-3,7-dion
10	PS-273	Morpholin-CONH-(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH) <sub>2</sub>
	PSI	N-Carbobenzoxy-Ile-Glu(OBut)-Ala-Leu-H
	RdRp	RNA-abhängige RNA-Polymerase
	RNA	Ribonukleinsäure (ribonucleic acid)
	RNase	Ribonuklease
15	RT	Reverse Transkriptase
	SDS	Natriumdodecylsulfat (Sodium Dodecylsulfate)
	SDS-PAGE	SDS-Polyacrylamid Gelelektrophorese
	TEM	Transmissions-Elektronenmikroskopie
	TNF	Tumornekrosefaktor
20	Tris	Tris-Puffer - Tris-(hydroxymethyl)-aminomethan
	Ub	Ubiquitin
	UCH	Ubiquitincarboxyhydrolase
	UPS	Ub-Proteasom-System
	UTR	nicht-translatierte Region(en) (UTRs)
25	zLLL	N-carbobenzoxy-L-leucinyl-L-leucinyl-L-leucinal
	zp	zytopathisch
	ZPE	zytopathischer Effekt der Virusinfektion

30 **Literaturverzeichnis**

- Adams, J; Behnke, M; Chen, S; Cruickshank, AA; Dick, RL; Grenier, L; Klunder, JM; Ma, Y.-T; Plamondon, L; Stein, RL (1998). Potent and selective inhibition of the proteasome: dipeptidyl boronic acids. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **8**:333-338.
- 35 Adams, J; Palombella, VJ; Sausville, EA; Johnson, J; Destree, A; Lazarus, DD; Maas, J; Pien, CS; Prakash, S; Elliott, PJ (1999). Proteasome inhibitors: a novel class of potent and effective antitumor agents. *Cancer Res.* **59**:2615-2622.
- Adams, J; Palombella, VJ; Elliot, PJ (2000). Proteasome inhibition: a new strategy in cancer treatment. *Investigational New drugs* **18**:109-121.

- Adams, J; Stein, R (1996). Novel inhibitors of the proteasome and their therapeutic use in inflammation. *Annu. Rep. Med. Chem.* **31**:279-288.
- 5 Agnello, V, Abel, G, Elfahal, M, Knight, GB, Zhang, QX; (1999). Hepatitis C virus and other flaviviridae viruses enter cells via low density lipoprotein receptor. *Proc Natl Acad Sci U S A.* **96**:12766-71.
- Agnello, V; (2000). Mixed cryoglobulinemia and other extrahepatic manifestations of hepatitis C virus infections. In: Liang, TJ, Hoonagle JH, eds. *Hepatitis C*. San Diego: Academic Press: 295-314.
- 10 Baldwin, AS (1996). The NF-kappa B and I kappa B proteins: new discoveries and insights. *Annu. Rev. Immunol.* **14**:649-683.
- Barton, DJ, Flanegan JB; (1993). Coupled translation and replication of poliovirus RNA *in vitro*: synthesis of functional 3D polymerase and infectious virus. *J. Virol.* **67**: 822-831.
- Behrens, SE, Grassmann, CW, Thiel, HJ, Meyers, G, Tautz, N; (1998). Characterization of an autonomous subgenomic RNA-relicon of a pestivirus. *J. Virol.* **72**: 2364-2372.
- 15 Bukh, J, Miller RH, Purcell, RH; (1995). Genetic heterogeneity of hepatitis C virus: quasispecies and genotypes. *Sem.Liver Dis.* **15**: 41-63.
- Burke, DS, Monath, TP; (2001). Flaviviruses. In: *Virology*, fourth edition edited by B.N. Fields, Lippincott-Raven Philadelphia, New York: 1043-1125.
- Ciechanover, A (1998). The ubiquitin-proteasome pathway: on protein death and cell live. *EMBO J.* **17**: 7151-7160.
- 20 Ciechanover, A, Orian, A, Schwartz, AL; (2000). The ubiquitin-mediated proteolytic pathway: mode of action and clinical implications. *J. Cell Biochem. Suppl.* **34**: 40-51.
- Coux, O; Tanaka, K; Goldberg, AL (1996). Structure and functions of the 20S and 26S proteasomes. *Annu. Rev. Biochem.* **65**: 801-847.
- 25 Dubuisson, J, Hsu, HH, Cheung, RC, Greenberg, HB, Russell, DG, Rice, CM; (1994). Formation and intracellular localization of hepatitis C virus envelope glycoprotein complexes expressed by recombinant vaccinia and Sindbis virus. *J. Virol.* **68**: 6147-6160.
- Elliott, PJ, Ross JS; (2001). The proteasome: a new target for novel drug therapies. *Am J Clin Pathol.* **116**: 637-46.
- 30 Elliott, PJ; Pien, CS; McCormack, TA; Capman, ID; Adams, J (1999). Proteasome inhibition: a novel mechanism to combat asthma. *J. Allergy Clin. Immunol.* **104**: 294-300.
- Fenteany, G; Standaert, RF; Lane, WS; Choi, S; Corey, EJ; Schreiber, SL (1995). Inhibition of proteasome activities and subunit-specific amino-terminal threonine modification by lactacystein. *Science* **268**: 726-731.
- 35 Frankel, A; Man, S; Elliott, P; Adams, J; Kerbel, RS (2000). Lack of multicellular drug resistance observed in human ovarian and prostate carcinoma treated with the proteasome inhibitor PS-341. *Clinical Cancer Res.* **6**:3719-3728.
- Fuerst, TR, Niles, EG, Studier, FW, Moss B; (1986). Eukaryotic transient-expression system based on recombinant vaccinia virus that synthesizes bacteriophage T7 RNA polymerase. *Proc.Natl.Acad.Sci.U.S.A* **83**: 8122-8126.

- Grassmann, CW, Isken, O, Behrens SE; (1999). Assignment of the multifunctional NS3 protein of bovine viral diarrhea virus during RNA replication: an in vivo and in vitro study. *J. Virol.* **73**: 9196-9205.
- 5 Grassmann, CW, Isken, O, Tautz, N, Behrens SE; (2001). Genetic analysis of the pestivirus nonstructural coding region: defects in the NS5A unit can be complemented *in trans*. *J. Virol.* **75**: 7791-7802.
- Hanada, M; Sugawara, K; Kaneta, K; Toda, S; Nishiyama, Y; Tomita, K; Yamamoto, H; Konishi, M; Oki, T (1992). Epoxomicin, a new antitumor agent of microbial origin. *J. Antibiot. (Tokyo)* **45**:1746-1752.
- 10 Harty, RN; Brown, ME; Wang, G; Huibregtse, J; Hayes, FP; (2000). A PPxY motif within the VP40 protein of Ebola virus interacts physically and functionally with a ubiquitin ligase: implications for filovirus budding. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **97**: 13871-13876.
- Hershko, A; Ciechanover, A; (1998). The ubiquitin system. *Annu. Rev. Biochem.* **67**: 425-479.
- 15 Higashitsuji, H; Itoh, K; Nagao, T; Dawson, S; Nonoguchi, K; Kido, T; Mayer, RJ; Arii, S; Fujita, J; (2000). Reduced stability of retinoblastoma protein by gankyrin, an oncogenic ankyrin-repeat protein overexpressed in hepatomas. *Nat Med.* **6**:96-99.
- Köck J, Nassal M, MacNelly S, Baumert TF, Blum HE, von Weizsäcker F; (2001). Efficient infection of primary *Tupaia* hepatocytes with purified human and woolly monkey hepatitis B virus. *J. Virol.* **75**:5084-5089.
- 20 Lohmann, V, Körner, F, Koch, JO, Herian, U, Theilmann, L., Bartenschlager R; (1999). *Science* **285**:110-113.
- Lightcap, ES; McCormack, TA; Pien, CS; Chau, V; Adams, J; Elliott, PJ (2000). Proteasome inhibition measurements: clinical application. *Clin. Chem.* **46**:673-683.
- 25 Lindenbach, BD, Rice, CM; (2001). Flaviviridae: the viruses and their replication. In: *Virology*, fourth edition edited by B.N. Fields, Lippincott-Raven Philadelphia, New York: 991-1042.
- Major, ME, Rehermann, B, Feinstone, SM; (2001). Hepatitis C viruses. In: *Virology*, fourth edition edited by B.N. Fields, Lippincott-Raven Philadelphia, New York: 1127-1161.
- 30 Meng, L; Kwok, BH; Sin, N; Crews, CM (1999a). Eponemycin exerts its antitumor effect through the inhibition of proteasome function. *Cancer Res.* **59**:2798-2801.
- Meng, L; Mohan, R; Kwok, BH; Elofsson, M; Sin, N; Crews, CM (1999b). Epoxomicin, a potent and selective proteasome inhibitor, exhibits *in vivo* antiinflammatory activity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **96**(18): 10403-10408.
- 35 Merola, M, Brazzoli, M, Cochiarella, F, Heile, JM, Helenius, A, Weiner, AJ, Houghton, M, Abrignani, S; (2001). Folding of Hepatitis C Virus E1 glycoprotein in a cell-free system. *J. Virol.* **75**: 11205-11217.
- Meyers, G, Tautz, N, Becher, P, Thiel, H-J, Kümmerer BM; (1996). Recovery of cytopathogenic and noncytopathogenic bovine viral diarrhea viruses from cDNA constructs. *J. Virol.* **70**: 8606-8613.
- 40 Moormann, RJM, van Gennip, HGP, Miedema, GKL, Hulst, MM, van Rijn PA; (1996). Infectious RNA transcribed from an engineered full-length cDNA template of the genome of a pestivirus. *J. Virol.* **70**: 763-770.

- Moradpour, D; Grabscheid, B; Kammer, AR; Schmidtke, G; Gröttrup, M; Blum, HE; Cerny, A (2001). Expression of hepatitis C virus proteins does not interfere with major histocompatibility complex class I processing and presentation in vitro. *Hepatology* **33**:1282-1287.
- Müller, K, Heimann, M, Rümenapf, T; (2000). Evidences that CD46 is involved in BVDV infection. Keystone symposium: Cell biology of virus entry, replication and pathogenesis. Taos, NM, Abstract supplement.
- Palombella, VJ; Conner, EM; Fuseler, JW; Destree, A; Davis, JM; Laroux, FS; Wolf, RE; Huang, J; Brand, S; Elliott, PJ; Lazarus, D; McCormack, T; Parent, L; Stein, R; Adams, J; Grisham, MB; (1998). Role of the proteasome and NF-kappaB in streptococcal cell wall-induced polyarthritis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **95**:15671-15676.
- Palombella, VJ; Rando, OJ; Goldberg, AL; Maniatis, T; (1994). The ubiquitin-proteasome pathway is required for processing the NF-kappa B1 precursor protein and the activation of NF-kappa B. *Cell* **78**:773-785.
- Pamer, E; Cresswell, P; (1998). Mechanisms of MHC class I-restricted antigen processing. *Annu. Rev. Immunol.* **16**:323-358.
- Patnaik, A, Chau, V, Wills, JW; (2000). Ubiquitin is part of the retrovirus budding machinery. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **97**:13069-13074.
- Pietschmann, T, Lohmann, V, Kaul, A, Krieger, N, Rinck, G, Rutter, G, Strand, D, Bartenschlager, R; (2002) Persistent and transient replication of full-length hepatitis C virus genomes in cell culture. *J. Virol.* **76**:4008-21.
- Phillips, JB; Williams, AJ; Adams, J; Elliott, PJ; Tortella, FC (2000). Proteasome inhibitor PS-519 reduces infarction and attenuates leukocyte infiltration in a rat model of focal cerebral ischemia. *Stroke* **31**:1686-1693.
- Rehermann, B; Ferrari, C; Pasquinelli, C; Chisari, FV (1996). The hepatitis B virus persists for decades after patients' recovery from acute viral hepatitis despite active maintenance of a cytotoxic T-lymphocyte response. *Nat Med.* **2**:1104-1108.
- Rock, KL; Gramm, C; Rothstein, L; Clark, K; Stein, R; Dick, L; Hwang, D; Goldberg, AL (1994). Inhibitors of the proteasome block the degradation of most cell proteins and the generation of peptides presented on MHC class I molecules. *Cell* **78**:761-771.
- Rock, KL; Goldberg, AL (1999). Degradation of cell proteins and the generation of MHC class I-presented peptides. *Annu. Rev. Immunol.* **17**:739-779.
- Rümenapf, T., Unger, G., Strauss, JH, and Thiel, HJ; (1993). Processing of the envelope glycoproteins of pestiviruses. *J. Virol.* **67**: 3288-3294.
- Schubert, U; Antón, LC; Gibbs, J; Norbury, CC; Yewdell, JW; Bennink, JR (2000b). Rapid degradation of a large fraction of newly synthesized proteins by proteasomes. *Nature* **404**:770-774.
- Schubert, U; Ott, DE; Chertova, EN; Welker, R; Tessmer, U; Princiotta, MF; Bennink, JR; Kräusslich, H-G; Yewdell, JW (2000a). Proteasome inhibition interferes with gag polyprotein processing, release, and maturation of HIV-1 and HIV-2. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **97**:13057-13062.
- Schwartz, AL; Ciechanover, A (1999). The ubiquitin-proteasome pathway and pathogenesis of human diseases. *Annu. Rev. Med.* **50**:57-74.

- Strack, B; Calistri, A; Accola, MA; Palu, G; Götlinger, HG (2000). A role for ubiquitin ligase recruitment in retrovirus release. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97:13063-13068.
- Suzuki, R; Tamura, K; Li, J; Ishii, K; Matsuura, Y; Miyamura, T; Suzuki, T (2001). Ubiquitin-mediated degradation of hepatitis C virus core protein is regulated by processing at its carboxyl terminus. *Virology* 280:301-309.
- Teicher, BA; Ara, G; Herbst, R; Palombella, VJ; Adams, J (1999). The proteasome inhibitor PS-341 in cancer therapy. *Clin. Cancer Res.* 5:2638-2645.
- Thiel, HJ, Plagemann, PGW, Moennig,V; (1996). Pestiviruses. In B.N. Fields, D.M.Knipe, and P.M. Howley (ed.), *Fields virology*. Raven Press, Philadelphia. Pa.: 1059-1074.
- 10 Trautwein, C; Manns, M (2001). Antivirale Therapie der chronischen Virushepatitis. *Internist* 42:913-923.
- Yagi, T; Hardin, JA; Valenzuela, YM; Miyoshi, H; Gores, GJ; Nyberg, SL (2001). Caspase inhibition reduces apoptotic death of cryopreserved porcine hepatocytes. *Hepatology* 33:1432-40.
- 15 Yu, H, Grassmann, CW, Behrens SE; (1999). Sequence and structural elements at the 3' terminus of bovine viral diarrhea virus genomic RNA: functional role during RNA replication. *J. Virol.* 73: 3638-3648.
- Yu, H, Isken,O, Grassmann, CW, Behrens SE; (2000). A stem-loop motif formed by the immediate 5'-terminus of the bovine viral diarrhea virus genome modulates translation as well  
20 as replication of the viral RNA. *J. Virol.* 74: 5825-5835.
- Zhao, X, Tang Z, Klumpp B, Wolff-Vorbeck, G, Barth H, Levy S, von Weizsäcker, F, Blum HE, Baumert TF; (2002). Primary hepatocytes of *Tupaia belangeri* as a potential model for hepatitis C virus infection *J. Clin. Invest.* 109: 221-232.

**Patentansprüche**

1. Mittel zur Hemmung der Freisetzung, Reifung und Replikation von Mitgliedern der Familie Flaviviridae – Genera: Flavivirus, Pestivirus, Hepacivirus – dadurch gekennzeichnet, dass sie als wirksame Komponente mindestens einen Proteasom-Inhibitor in einer pharmazeutischen Zubereitung enthalten.
2. Mittel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Hemmung der Freisetzung, Reifung und Replikation von Hepatitis-C-Virus (HCV), zur Behandlung und Prophylaxe von HCV-bedingten Hepatitiden, Flavivirus-bedingtem Fieber, Hämorrhagien, Leukopenie, Thrombozytopenie, Durchfallerkrankungen und Encephalitiden sowie Pestivirus-verursachten Krankheiten eingesetzt werden.
3. Mittel nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Proteasom-Inhibitoren Substanzen eingesetzt werden,
  - 3.1. welche die Aktivitäten des Ubiquitin/Proteasom-Pathway hemmen, regulieren oder anderweitig beeinflussen
  - 3.2. die speziell die enzymatischen Aktivitäten des kompletten 26S Proteasom-Komplexes und
  - 3.3. die speziell die enzymatischen Aktivitäten des freien, nicht mit regulatorischen Untereinheiten assemblierten 20S katalytisch aktiven Proteasom-Komplexes beeinflussen.
4. Mittel nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Proteasom-Inhibitoren Substanzen eingesetzt werden, die als Proteasom-Inhibitoren von Zellen höherer Eukaryoten aufgenommen werden und nach Zellaufnahme mit den katalytischen Untereinheiten des Proteasoms in Wechselwirkung treten und dabei alle oder einzelne proteolytische Aktivitäten des Proteasoms – die Trypsin-, die Chymotrypsin- und die Postglutamyl-Peptid hydrolysierenden Aktivitäten – innerhalb des 26S oder auch des 20S Proteasomkomplexes blockieren.
5. Mittel nach Anspruch 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die pharmazeutischen Zubereitungen neben Proteasom-Inhibitoren auch andere Mittel enthalten, welche das zelluläre Ubiquitin-System beeinflussen, regulieren oder hemmen, wie die Aktivitäten
  - 5.1. der Ubiquitin-konjugierenden Enzyme und/oder
  - 5.2. der Ubiquitin-hydrolysierenden Enzyme.

6. Mittel nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass als Proteasom-Inhibitoren Substanzen eingesetzt werden, die in verschiedenen Formen *in vivo* oral, intravenös, intramuskulär, subkutan oder in verkapselter Form mit oder ohne Zell-Spezifität-tragende Veränderungen verabreicht werden, aufgrund der Anwendung eines bestimmtes Applikations- und/oder Dosis-Regimes eine geringe Zytotoxizität aufweisen, keine oder unbedeutende Nebenwirkungen auslösen, eine relative hohe metabolische Halbwertszeit und eine relative geringe Clearance-Rate im Organismus aufweisen.
- 5
7. Mittel nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Proteasom-Inhibitoren Substanzen eingesetzt werden, die
- 10 a) in natürlicher Form aus Mikroorganismen oder anderen natürlichen Quellen isoliert werden oder
- b) durch chemische Modifikationen aus natürlichen Substanzen hervorgehen oder
- c) total-synthetisch hergestellt werden oder
- 15 d) durch gentherapeutische Verfahren *in vivo* synthetisiert werden.
8. Mittel nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Proteasom-Inhibitoren Substanzen eingesetzt werden, die folgenden Substanzklassen angehören:
- 20 8.a) natürlich vorkommende Proteasom-Inhibitoren:
- Peptid-Derivate, welche C-terminal Epoxyketon-Strukturen enthalten
  - $\beta$ -Lacton-Derivate
  - Aclacinomycin A (auch bezeichnet als Aclarubicin)
  - Lactacystin und dessen chemische modifizierte Varianten, wie der Zellmembran-penetrierenden Variante "Clastolactacystein  $\beta$ -Lacton"
- 25 8.b) synthetisch hergestellte Proteasom-Inhibitoren:
- modifizierte Peptidaldehyde, wie N-carbobenzoxy-L-leucinyl-L-leucinyl-L-leucinal (auch bezeichnet als MG132 oder zLLL), dessen Borsäure-Derivat MG232; N-Carbobenzoxy-Leu-Leu-Nva-H (bezeichnet als MG115; N-Acetyl-L-Leuzinyl-L-Leuzinyl-L-Norleuzinal (bezeichnet als LLnL), N-Carbobenzoxy-Ile-Glu(OBut)-Ala-Leu-H (auch bezeichnet als PSI);
- 30 8.c) Peptide, welche C-terminal eine  $\alpha,\beta$ -Epoxyketon-Struktur tragen, ferner Vinyl-sulfone, wie
- 8.d) 1. Carbobenzoxy-L-Leucinyl-L-Leucinyl-L-Leucin-vinyl-sulfon oder
- 8.d) 2. 4-Hydroxy-5-iodo-3-nitrophenylactetyl-L-Leucinyl-L-Leucinyl-L-Leucin-vinyl-sulfon (NLVS)
- 35 8.d) Glyoxal- oder Borsäure-Reste, wie
- 8.d) 1. Pyrazyl-CONH(CHPhe)CONH(CHisobutyl)B(OH)<sub>2</sub> sowie

## 8.d)2. Dipeptidyl-Borsäure-Derivate oder

8.e) Pinacol-Ester - wie Benzyloxycarbonyl(Cbz)-Leu-Leu-boroLeu-Pinacol-Ester.

9. Mittel nach Anspruch 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, dass als besonders geeignete  
5 Proteasom-Inhibitoren die Epoxyketone

9.1. Epoxomicin (Epoxomycin, Molekülformel: C<sub>28</sub>H<sub>46</sub>N<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) und/oder

9.2. Eponemicin (Eponemycin, Molekülformel: C<sub>20</sub>H<sub>36</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

eingesetzt werden.

10. Mittel nach Anspruch 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, dass als besonders geeignete  
Proteasom-Inhibitoren aus der PS-Serie die Verbindungen

10.1. PS-519 als β-Lacton - sowie als Lactacystin-Derivat die Verbindung 1R-[1S,  
4R,5S]]-1-(1-Hydroxy-2-methylpropyl)-4-propyl-6-oxa-2-  
azabicyclo[3.2.0]heptane-3,7-dione - Molekülformel C<sub>12</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>4</sub> - und/oder

15 10.2. PS-314 als Peptidyl-Borsäure-Derivat die Verbindung N-Pyrazinecarbonyl-L-  
Phenylalanin-L-Leuzin-Borsäure - Molekülformel C<sub>19</sub>H<sub>25</sub>BN<sub>4</sub>O<sub>4</sub> - und/oder

10.3. PS-273 (Morpholin-CONH-(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>) und  
dessen Enantiomer PS-293 und/oder

10.4. die Verbindung PS-296 (8-Quinolyl-sulfonyl-CONH-(CH-Naphthyl)-CONH(-CH-  
isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>) und/oder

10.5. PS-303 (NH<sub>2</sub>(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>) und/oder

10.6. PS-321 als (Morpholin-CONH-(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-Phenylalanin)-  
B(OH)<sub>2</sub>); - und/oder

10.7. PS-334 (CH<sub>3</sub>-NH-(CH-Naphthyl)-CONH-(CH-Isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>) und/oder

25 10.8. die Verbindung PS-325 (2-Quinol-CONH-(CH-homo-Phenylalanin)-CONH-(CH-  
isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>) und/oder

10.9. PS-352 (Phenylalanin-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CONH-(CH-Phenylalanin)-CONH-(CH-  
isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>) und/oder

10.10. PS-383 (Pyridyl-CONH-(CH<sub>p</sub>F-Phenylalanin)-CONH-(CH-isobutyl)-B(OH)<sub>2</sub>)  
30 eingesetzt werden.

11. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren der Ansprüche 1 bis 10 zur Hemmung des Entry-/Internalisierungsvorganges, der Replikation sowie der Reifung und Freisetzung von Flaviviridae.

12. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Hemmung von späten Prozessen im Lebenszyklus von Flaviviridae.

13. Verwendung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass Proteasom-Inhibitoren die Produktion von infektiösen Virionen von Flaviviridae-infizierten Zellen weitgehend oder vollkommen durch Blockierung unterbinden.  
5
14. Verwendung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass Proteasom-Inhibitoren die Hemmung der Freisetzung von Virionen wie auch eine nahezu vollständige Reduktion der Infektiosität der freigesetzten Virionen bewirken.
- 10 15. Verwendung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass Proteasom-Inhibitoren die Virusvermehrung und somit die Neuinfektion von Wirtszellen und damit die Ausbreitung einer Infektion *in vivo*, im Falle von Hepatitis-C-Virus, im Lebergewebe eines Infizierten unterdrücken.
- 15 16. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Hemmung der Vermehrung von Flaviviridae nach den Mechanismen
  - a) Blockierung/Reduktion der Freisetzung von neuen Virionen
  - b) Blockierung/Reduktion der Infektiosität von freigesetzten Virionen
  - c) Blockierung/Reduktion der Infektionsausbreitung in Kulturen von Wirtszellen
  - 20 d) Blockierung/Reduktion der Infektionsausbreitung in infizierten Organen *in vivo*.
17. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Unterdrückung von Flavivirus-Infektionen und Pestivirus-Infektionen bei Menschen und Tieren.
- 25 18. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Induktion des Absterbens von Hepato-Karzimonzellen.
19. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 18 zur Unterdrückung und/oder Verhinderung des Entstehens von Leberzell-Karzinomen.  
30
20. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 18 und 19 zur Therapie von Patienten mit etablierten Leberzellkarzinomen.
- 35 21. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 18 bis 20 zur Behandlung/Bekämpfung/Verhinderung von
  - 21.1. HCV-induzierter Leberzirrhose und/oder
  - 21.2. HCV-induzierten Leberzellkarzinomen

- 21.3. Medikamenten-induzierten Leberkarzinomen  
21.4. genetisch bedingten Leberkarzinomen  
21.5. durch Umwelt-bedingten Leberkarzinomen und/oder  
21.6. durch eine Kombination viraler und nichtviral Faktoren bedingten Leberkarzino-  
men.
- 5
22. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 18 bis 21 zur gezielten Eliminie-  
rung von Leberkarzinomzellen, welche infolge einer  
22.1. HCV-Infektion oder  
10 22.2. entsprechenden Koinfektion von HCV und Hepatitis-B-Virus (HBV) oder  
22.3. Hepatitis-Delta-Virus (HDV)/HBV/HCV-Koinfektion  
22.4. Humanes Immundefizienzvirus (HIV)/HCV-Koinfektionen oder  
22.5. HCV und Koinfektionen mit anderen Viren, Bakterien oder Parasiten  
entstehen.
- 15
23. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 18 bis 22 zur Verhinderung der  
Entstehung, des Wachstums und der Metastasierung von Leberzelltumoren sowie zur  
bevorzugten Zerstörung von Leberkarzinomzellen in HCV-infizierten Patienten.
- 20 24. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Modulation der Expressi-  
on, Modifizierung und Aktivität des Tumorsuppressor-Proteins p53 und anderer Tumor-  
suppressorproteine, die bei hepatozellulären Karzinomen (HCC) von Belang sind.
- 25 25. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Leberzellregeneration bei  
Patienten mit Leberentzündung.
26. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Regeneration von Patien-  
ten nach Flavivirus-Infektionen.
- 30 27. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Regeneration von Stalltie-  
ren nach Flavivirus- oder Pestivirus-Infektionen.
28. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Reduktion der Anzahl in-  
fizierter Virus-produzierender Zellen im Leberzellgewebe.
- 35
29. Verwendung nach Anspruch 11-14, dadurch gekennzeichnet, dass Proteasom-Inhibitoren  
die post-translationale Modifikation und proteolytische Prozessierung von Flaviviridae-

Strukturproteinen verändern sowie die Dimerisierungsfähigkeit der Virus-Envelope-Proteine herabsetzen und dadurch die Freisetzung und Infektiosität von Flaviviridae herabsetzen oder blockieren.

- 5 30. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Hemmung sowohl der Erhaltung und Persistenz einer bereits etablierten Infektion als auch einer Sekundärinfektion und somit der Ausbreitung einer Infektion, einschließlich der Blockierung der Ausbreitung einer Flaviviridae-Infektion in vivo.
- 10 31. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 7 bis 11 in Kombination untereinander zur Behandlung und Bekämpfung von HCV-bedingten Hepatiden, Flavivirusbedingtem Fieber, Hämorrhagien und Encephalitiden sowie Pestivirus-verursachten Krankheiten.
- 15 32. Verwendung nach Anspruch 31 in Kombination mit bereits in der anti-viralen Therapie von Flaviviridae-Infektionen verwendeten Therapeutika.
- 20 33. Verwendung nach Anspruch 31 und 32 zur Behandlung von Koinfektionen verschiedener Flaviviren und Pestiviren.
- 25 34. Verwendung nach Anspruch 31 und 32 zur Behandlung von Koinfektionen von HCV und Immundefizienzviren HIV-1 und HIV-2.
- 30 35. Verwendung nach Anspruch 34 zur Behandlung von HCV/HIV-Koinfektionen in Kombination mit der HAART-Therapie.
- 35 36. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Verhinderung einer Re-Infektion mit HCV bei Leber- und anderen Organtransplantationen.
- 30 37. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Verhinderung einer Re-Infektion mit HCV bei Zelltherapien durch Gabe der Mittel vor, während und nach der Transplantation.
- 35 38. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Verhinderung einer Re-Infektion mit HCV bei der Transplantation von virusfreien Organen auf chronische Virusträger, die immer Restvirus haben und neue Organe infizieren können wie auch bei der Übertragung von Virus-haltigen Organen von Spendern auf virusfreie Patienten.

39. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Verhinderung der Etablierung einer systemischen Flaviviridae-Infektion unmittelbar nach Kontakt mit infektiösem Virus.

5

40. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Vorbeugung einer Flaviviridae-Infektion bei Personen mit hohem Risiko einer Neuinfektion, wie bei Ärzten, Risiko-Personal in Häusern mit hohem Besucherverkehr, Drogenabhängigen, Reisenden in hochendemische Gebiete für Flaviviridae, in der Krankenbehandlung oder für Familienangehörige von chronischen Virusträgern.

10

41. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 11 zur Minderung oder Eliminierung einer Leberentzündung durch Immunsystem-vermittelte Mechanismen.

15

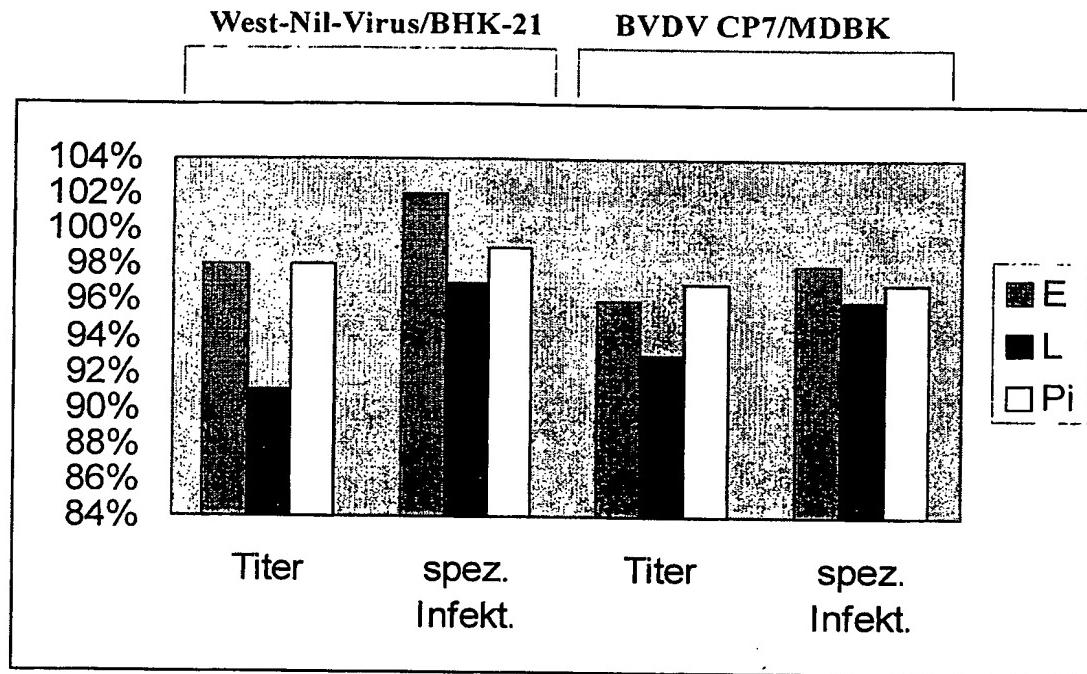
42. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 7 bis 11 zur Herstellung von Mitteln und/oder pharmazeutischen Zubereitungen zur Hemmung der Freisetzung, Reifung und Replikation von Flaviviridae.

20

43. Verwendung von Proteasom-Inhibitoren nach Anspruch 42 zur Herstellung von Arzneimitteln zur Behandlung und Prophylaxe von HCV-bedingten Hepatitiden, Flavivirusbedingtem Fieber, Hämorrhagien und Encephalitiden sowie Pestivirus-verursachten Krankheiten.

Figur 1

1 / 8

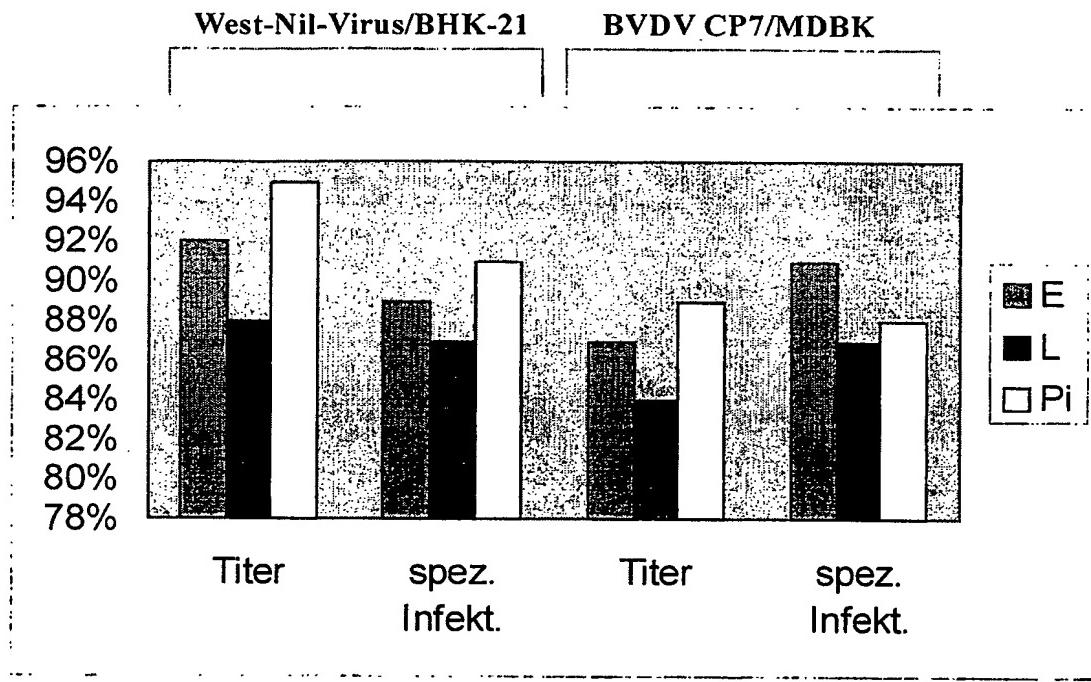


Werte:

Titer (WN)r	spez. Infekt. (WN).	Titer (BVDV)	spez. Infekt. (BVDV)
(E) 98%	(E) 102%	(E) 96%	(E) 98%
(L) 91%	(L) 97%	(L) 93%	(L) 96%
(Pi) 98%	(Pi) 99%	(Pi) 97%	(Pi) 97%

Figur 2

2 / 8

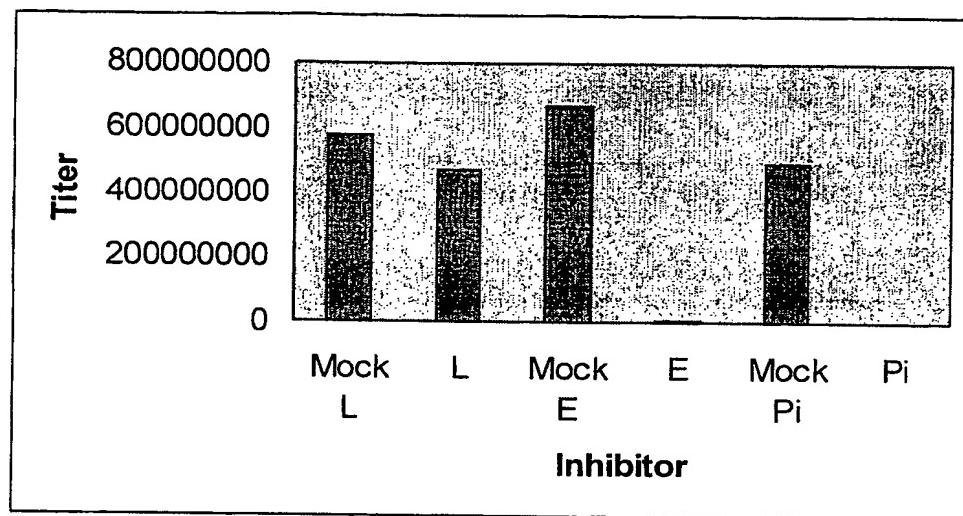
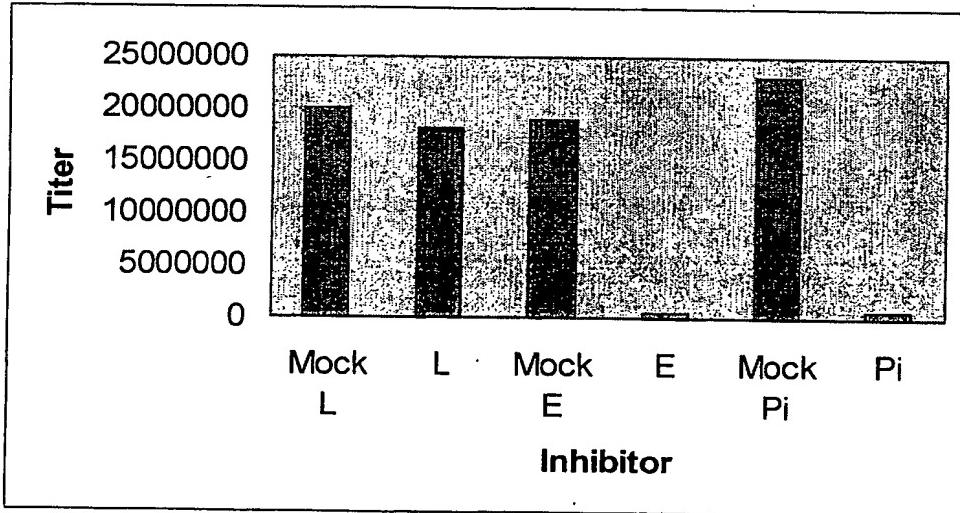


Werte:

Titer (WN)	spez. Infekt. (WN)	Titer (BVDV)	spez. Infekt. (BVDV)
(E) 92%	(E) 89%	(E) 87%	(E) 91%
(L) 88%	(L) 87%	(L) 84%	(L) 87%
(Pi) 95%	(Pi) 91%	(Pi) 89%	(Pi) 88%

Figur 3

3 / 8

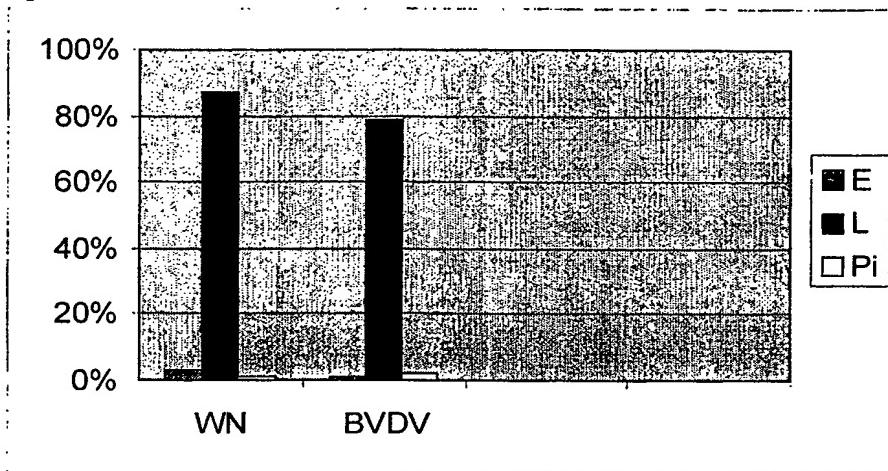
**West-Nil-Virus/BHK****BVDV CP7/MDBK**

Werte:

Mock L (WN)	L (WN)	Mock E (WN)	E (WN)	Mock Pi (WN)	Pi (WN)
580000000	470000000	670000000	4500000	490000000	2800000
Mock L (BVDV)	L (BVDV)	Mock E (BVDV)	E (BVDV)	Mock Pi (BVDV)	Pi (BVDV)
20000000	18000000	19000000	540000	23000000	740000

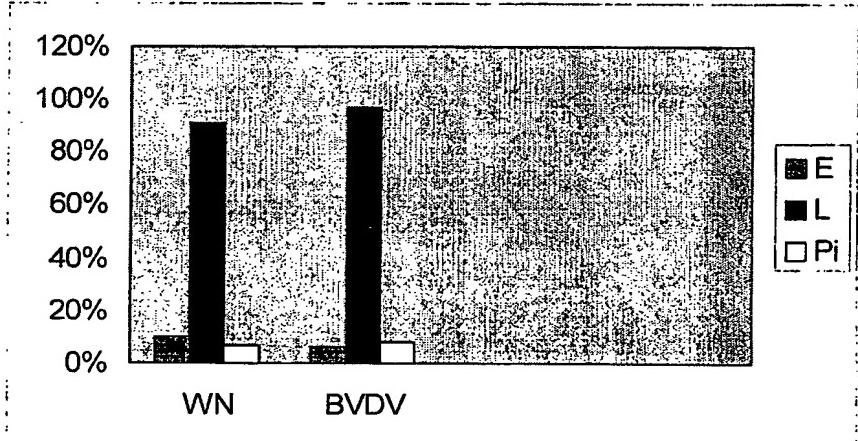
**Figur 4**

4 / 8

**spez. Infektiösität**

Werte:

	WN	BVDV
(E)	3%	1%
(L)	87%	79%
(Pi)	1%	2%

**Figur 5****Replikationsrate**

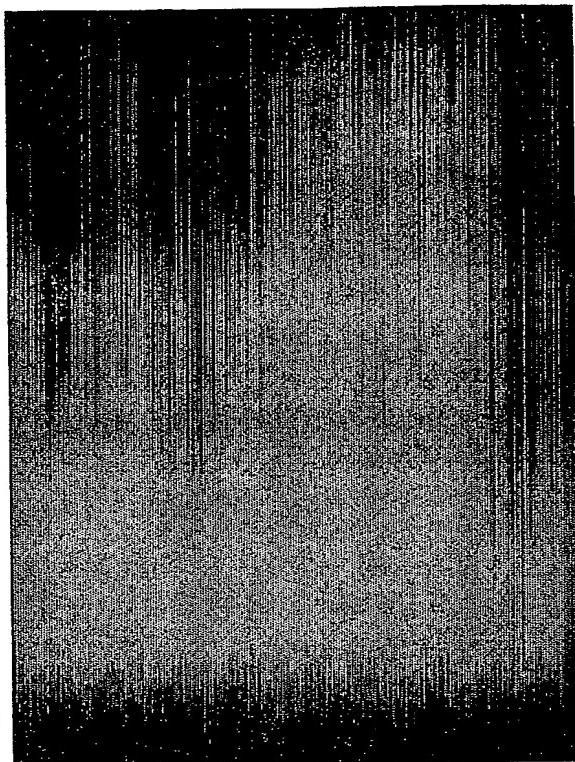
Werte:

	WN	BVDV
(E)	3%	1%
(L)	87%	79%
(Pi)	1%	2%

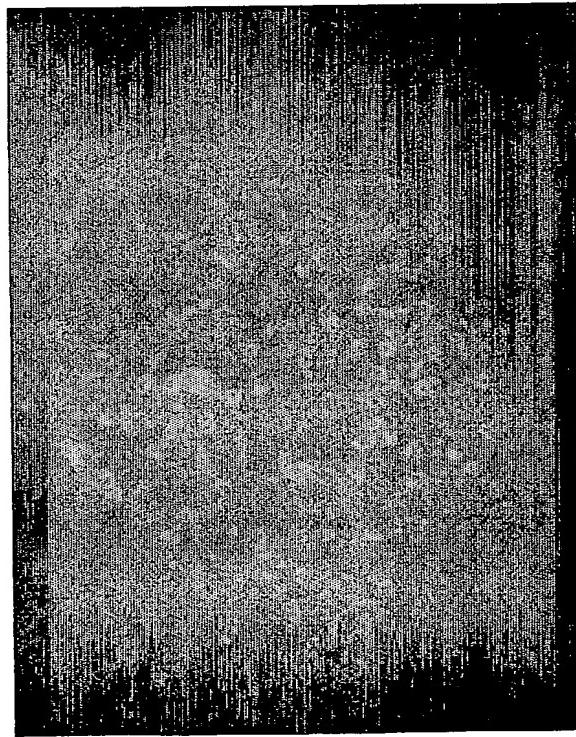
Figur 6

5/8

b)



a)



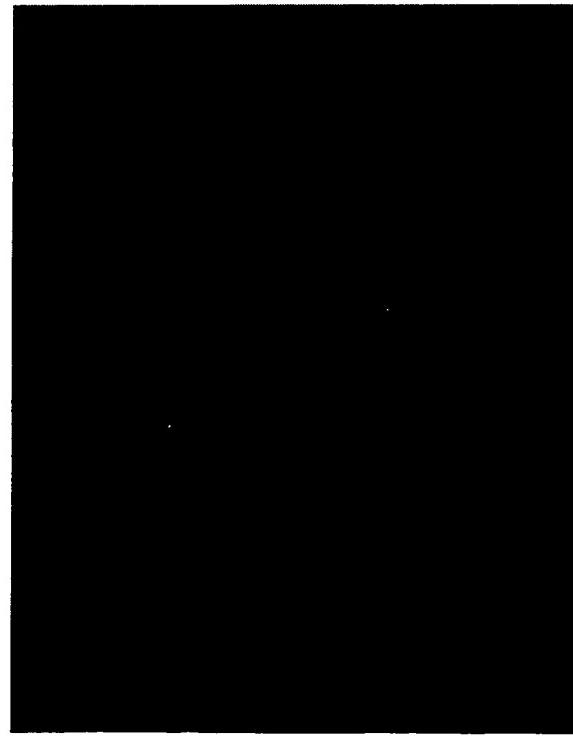
Figur 6

5/8

b)

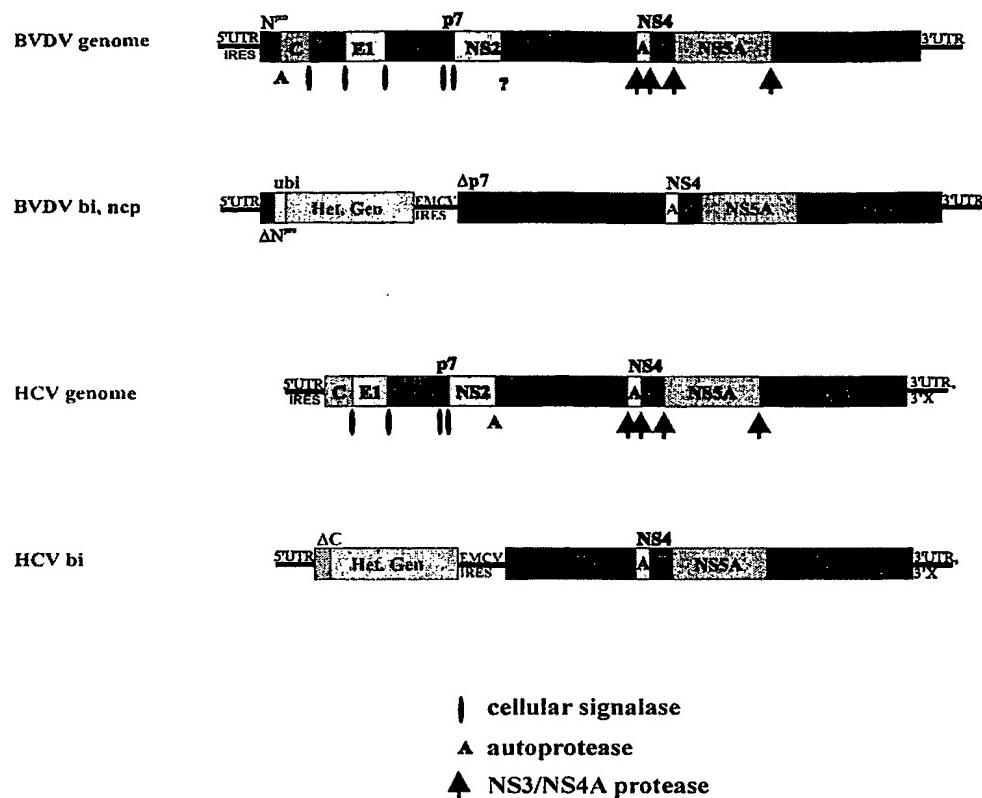


a)

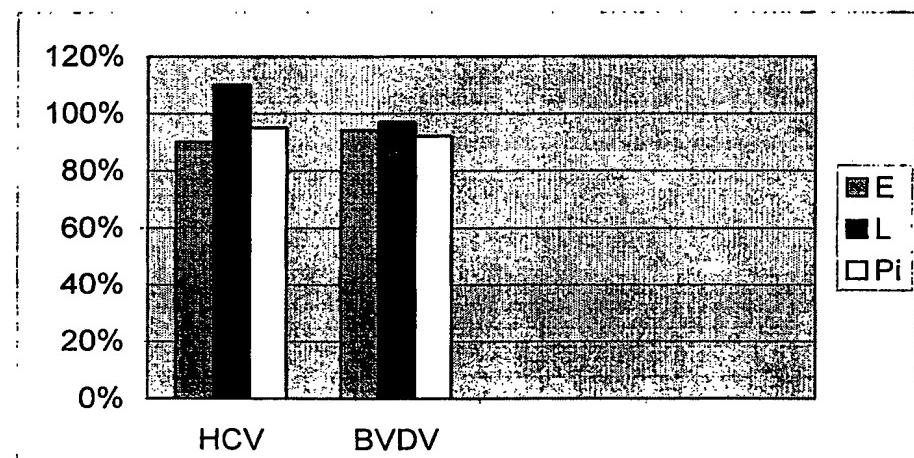


Figur 7

6 / 8



Figur 8



Werte:

HCV	BVDV
(E) 90%	(E) 94%
(L) 110%	(L) 97%
(Pi) 95%	(Pi) 92%

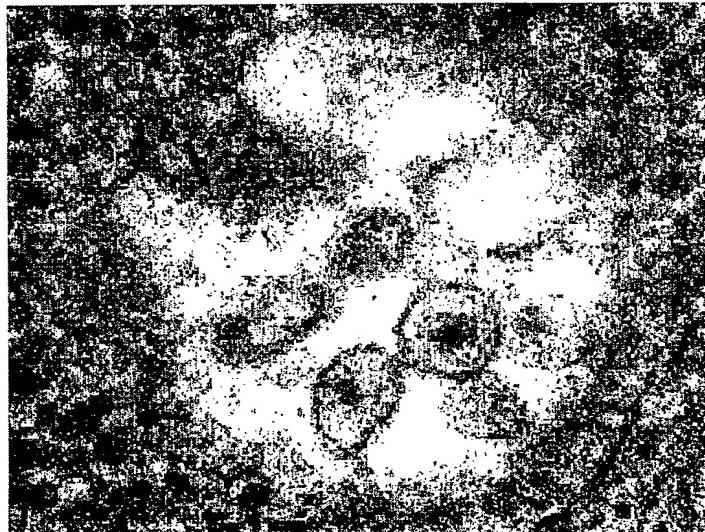
Figur 8

7/8

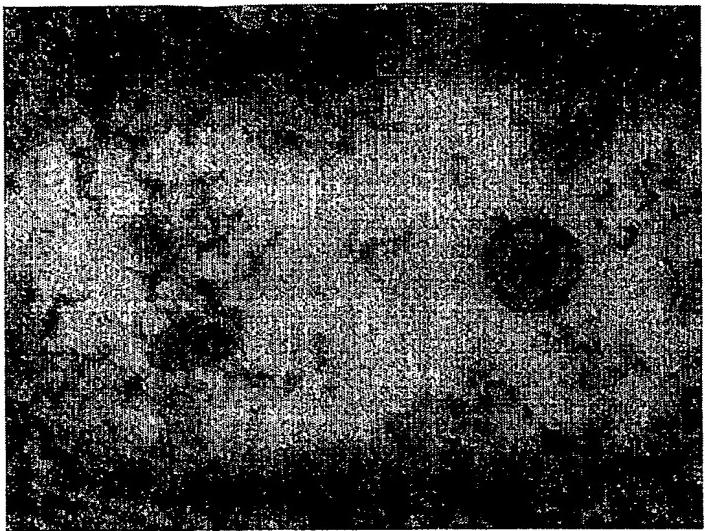
nicht infiziert



infiziert/unbehandelt

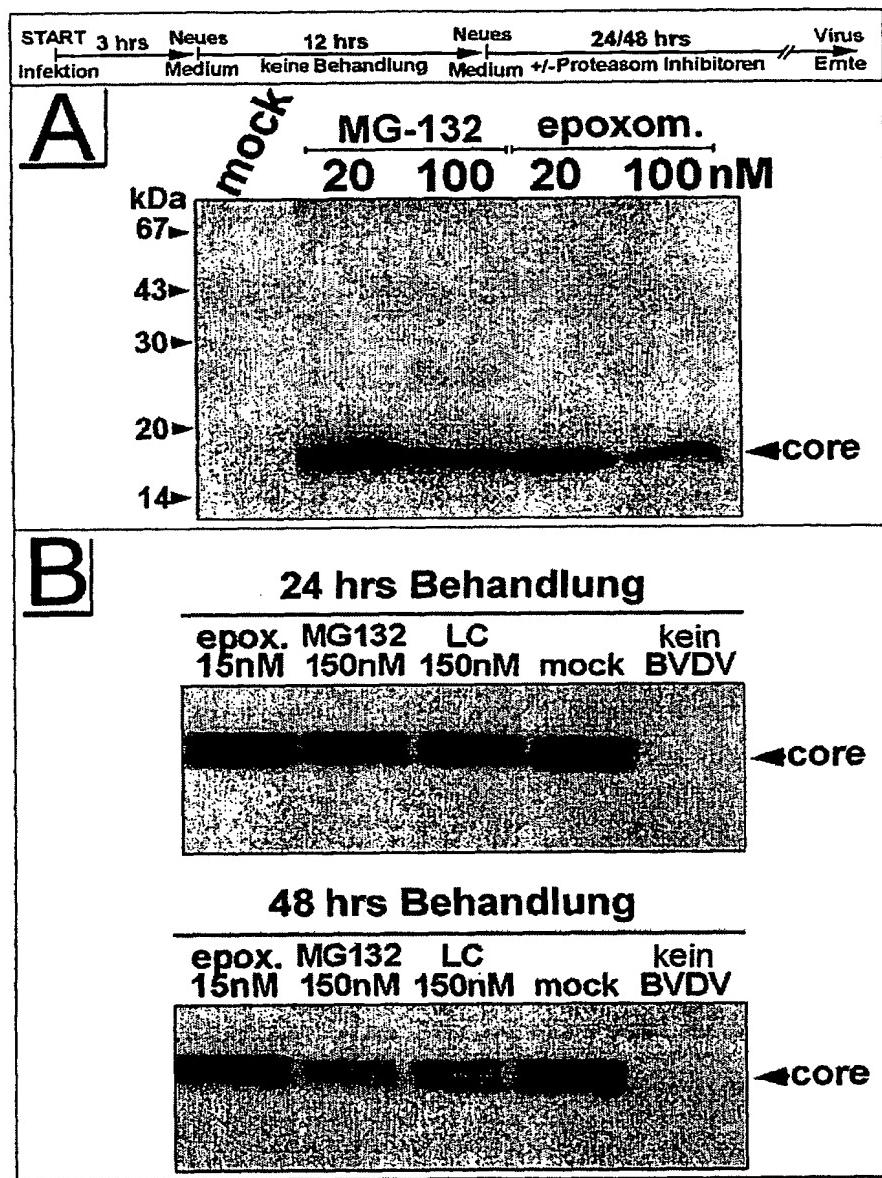


infiziert/Pi - behandelt



Figur 10

8 / 8



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No  
PCT 03/01213

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 A61K31/69 A61K31/11 A61K38/06 A61K31/16

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 A61K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, MEDLINE, BIOSIS, EMBASE, CHEM ABS Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 99 22729 A (RECH DU CENTRE HOSPITALIER DE ;WANG XIN (CA); WU JIANGPING (CA)) 14 May 1999 (1999-05-14) cited in the application claims 1,6,13 ---	1-8, 18-21,43
X	US 6 297 217 B1 (GRENIER LOUIS ET AL) 2 October 2001 (2001-10-02) claims 1,17,18 ---	1-8,10, 18-21
P,X	WO 02 30455 A (TESSMER UWE ;WILL HANS (DE); HOHENBERG HEINZ (DE); SCHUBERT EVELYN) 18 April 2002 (2002-04-18) claims 9,10,32,34-36,41 ----	1-10,15, 18-23

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

## ° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 July 2003

Date of mailing of the international search report

29/07/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ludwig, G

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information for patent family members

Inte [redacted] application No  
PCT/DE 01213

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 9922729	A	14-05-1999	AU WO EP JP	9731898 A 9922729 A1 0967976 A1 2001508465 T	24-05-1999 14-05-1999 05-01-2000 26-06-2001
US 6297217	B1	02-10-2001	US US US US US AT AU AU CA CN DE EP EP FI JP NO NZ NZ WO ZA	6066730 A 5780454 A 6083903 A 2002173488 A1 6465433 B1 241631 T 710564 B2 4139896 A 2203936 A1 1168633 A 69530936 D1 1312609 A1 0788360 A1 971746 A 10510245 T 971929 A 296717 A 337211 A 9613266 A1 9509119 A	23-05-2000 14-07-1998 04-07-2000 21-11-2002 15-10-2002 15-06-2003 23-09-1999 23-05-1996 09-05-1996 24-12-1997 03-07-2003 21-05-2003 13-08-1997 06-06-1997 06-10-1998 12-06-1997 29-11-1999 22-12-2000 09-05-1996 27-05-1996
WO 0230455	A	18-04-2002	DE DE AU WO EP	10051716 A1 10149398 A1 1813302 A 0230455 A2 1326632 A2	25-04-2002 24-04-2003 22-04-2002 18-04-2002 16-07-2003

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01213

A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGERECHTIGEN STANDES  
 IPK 7 A61K31/69 A61K31/11 A61K38/06 A61K31/16

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 A61K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, MEDLINE, BIOSIS, EMBASE, CHEM ABS Data

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 99 22729 A (RECH DU CENTRE HOSPITALIER DE ;WANG XIN (CA); WU JIANGPING (CA)) 14. Mai 1999 (1999-05-14) in der Anmeldung erwähnt Ansprüche 1,6,13 ---	1-8, 18-21,43
X	US 6 297 217 B1 (GRENIER LOUIS ET AL) 2. Oktober 2001 (2001-10-02) Ansprüche 1,17,18 ---	1-8,10, 18-21
P,X	WO 02 30455 A (TESSMER UWE ;WILL HANS (DE); HOHENBERG HEINZ (DE); SCHUBERT EVELYN) 18. April 2002 (2002-04-18) Ansprüche 9,10,32,34-36,41 ----	1-10,15, 18-23

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
- \*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*P\* Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
18. Juli 2003	29/07/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ludwig, G

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zu der Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 0213/01213

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9922729	A	14-05-1999	AU WO EP JP	9731898 A 9922729 A1 0967976 A1 2001508465 T	24-05-1999 14-05-1999 05-01-2000 26-06-2001
US 6297217	B1	02-10-2001	US US US US US AT AU AU CA CN DE EP EP FI JP NO NZ NZ WO ZA	6066730 A 5780454 A 6083903 A 2002173488 A1 6465433 B1 241631 T 710564 B2 4139896 A 2203936 A1 1168633 A 69530936 D1 1312609 A1 0788360 A1 971746 A 10510245 T 971929 A 296717 A 337211 A 9613266 A1 9509119 A	23-05-2000 14-07-1998 04-07-2000 21-11-2002 15-10-2002 15-06-2003 23-09-1999 23-05-1996 09-05-1996 24-12-1997 03-07-2003 21-05-2003 13-08-1997 06-06-1997 06-10-1998 12-06-1997 29-11-1999 22-12-2000 09-05-1996 27-05-1996
WO 0230455	A	18-04-2002	DE DE AU WO EP	10051716 A1 10149398 A1 1813302 A 0230455 A2 1326632 A2	25-04-2002 24-04-2003 22-04-2002 18-04-2002 16-07-2003

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**